دكتور عماد الدين وصفى

منظمات النمو

والإزهار



المكتبة الأكاديمية

منظمات النمو والإزهار

واستخدامها فى الزراعة

منظمات النمو والإزهار

واستخدامها فى الزراعة

دكتـور

عماد الدين وصفى

أستاذ ورئيس قسم أمراض النبات والنبات الزراعى

كلية الزراعة ـ جامعة الاسكندرية

الناشر

المكتبة الأكاديمية

١٩٩٥

حقوق النشر

المكتبة الأكاديمية

١٢١ ش التحرير ـ الدقى ـ القاهرة

تليفون : ٣٤٨٥٢٨٢/ ٣٤٩١٨٩٠

فاكس : ٣٤٩١٨٩٠ ـ ٢٠٢

بسم الله الرحمن الرحيم

مع أطيب تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي salamalhelali@yahoo.com

أهداء

إلى أستاذى المرحوم الأستاذ الدكتور

عباس فتحى الهلالى

رائد علم أمراض النبات فى مصر وقد علمنى الكثير من علمه وخلقه.

إلى أستاذى المرحوم الأستاذ الدكتور

صلاح الدين عيد

أحد رواد علم النبات فى مصر وقد علمنى أيضا الكثير من علمه وخلقه.

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/Biothesis/

https://www.researchgate.net/profile/Salam_Ewaid/

07807137614



تقديم

يعتبر النبات هو مصدر الطاقة اللازمة لحياة الإنسان والحيوان، كما تعتبر الهورمونات النباتية ـ منظمات النمو ـ هى المايسترو أى قائد الأوركسترا والتى تقود أوركسترا التفاعلات الحيوية فى النبات. فهى تارة يقل تركيزها فتتوقف أو تقل سرعة بعض التفاعلات الحيوية وتارة يزداد تركيزها فتنشط أو تزداد سرعة بعض التفاعلات الحيوية، وهكذا يتم أخراج سيمفونية التحول الغذائى فى إيقاع رائع عظيم هادئ بقيادة المايسترو ويحدث النمو فى النبات وسبحان الخالق جل جلاله، وبالتالى فأنها تلعب دور عظيم مؤثر على أنتاجيه النبات كما ونوعا.

يحتوى هذا الكتاب على دراسة شامله للقديم والحديث عن منظمات النمو ـ الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات وحامض الأبسيسيك والأثيلين ومثبطات النمو ـ وعن كيفيه أستخدامها لتحسين الإنتاج الزراعى كماً ونوعاً. ويشمل أيضاً على الطرق الحديثة للكشف عـن الهورمـونات النباتية مثل Radioimmunoassay و ORD و HPLC و GC/ MS وأيضا الطرق الحديثه للكشف عن التركيب الجزيئى بواسطة NMR. كما يشمل باباً عن البيولوچيا الجزيئية والهندسة الوراثية وعلاقتها بالهورمونات النباتية.

كما يشمل الحديث عن حركات النمو فى النبات وعن الفيتوكروم ودوره فى الكيمياء الحيوية للخليه والنبات وعن التأثير الضار لبعض منظمات النمو على الإنسان والحيوان.

أقدم كتابى هذا إلى جميع المتخصصين فى منظمات النمو فى كليات الزراعة والعلوم والتربيه ومراكز البحوث الزراعيه وغيرها وأملى أن أكون قد ملأت جزء من فراغ قراء الوطن العربى فى هذا المجال. وأدعو من الله العلى القدير أن يلهمنى الصواب ويوفقنى فى مؤلفات قادمة،،،

المؤلف

المحتويات

	الصفحة

النمو فى النبات

The Plant Growth

يحدث النمو فى النبات نتيجة لنشاط الأنسجة المريستيمية حيث أنها عبارة عن خلايا مريستيمية لها قدرة كبيرة على الإنقسام وبسرعة زائدة. وعادة تكون هذه الأنسجة المريستيمية مركزة فى أجزاء معينة فى النبات منها قمم الجذور وقمم السيقان وقمم الأزهار ... ألخ .

ولكى يحدث النمو فى النبات نجد أن الخلايا المريستيمية تمر فى عدة مراحل هى:

١ ـ الإنقســام Division

٢ ـ الكبر فى الحجم Extension أو الإستطالة Elongation

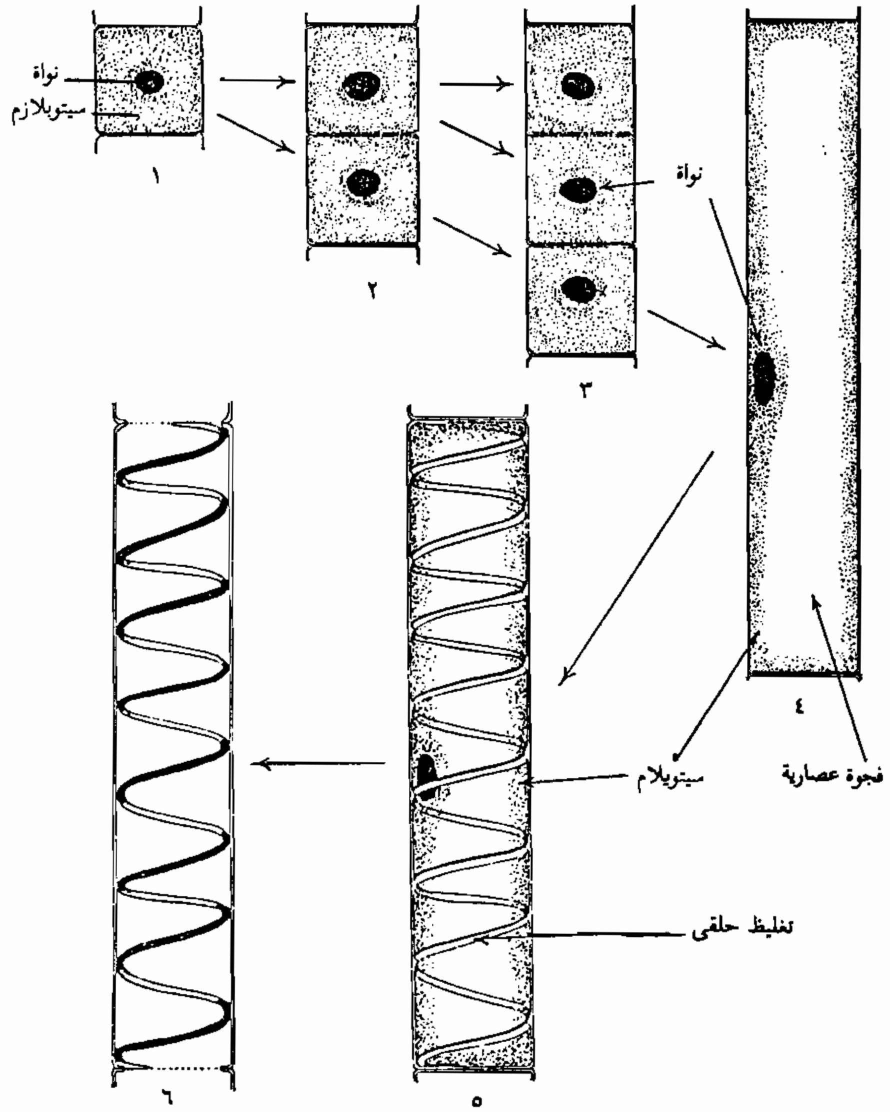
٣ ـ التميز أو التكشف أو التشكل Differentiation ومعناه أنه يحدث فى الخلية تغيرات فى شكلها أثناء زيادتها فى الحجم أو بعد تمام زيادتها فى الحجم بحيث يتلائم هذا الشكل مع الوظيفة التى تقوم بها الخلية بمعنى أن خلية الوعاء الخشبى يكون لها تغليظ حلقى أو لولبى أو شبكى أو منقر وذلك لكى تتلائم هذه الخلية مع نقل الماء وصعوده بسرعة فى النبات فهى مهيأة ومشكلة لذلك تماماً. وهذه الخلية بالطبع تختلف فى شكلها عن الخلايا الكلورانشيمية التى تتروااح فى شكلها من كروى إلى اسطوانى ولكنها تحتوى على بلاستيدات خضراء لكى تتلائم مع وظيفتها الأساسية وهى القيام بعملية البناء الضوئى وهذه الأنواع من الخلايا هى

على سبيل المثال وليس الحصر . وبالرغم من الإختلاف الكبير فى شكل خلية الوعاء الخشبى عن الخلية الكلورانشيمية فإن نشأتها كانت نشأة واحدة من خلايا مريستيمية متشابهة تماماً وحدث بعد ذلك الإنقسام فى هذه الخلايا المريستيمية والتغير فى الشكل لينتج خلايا كلورانشيمية أو خلايا الوعاء الخشبى ـ وهذا الجزء الأخير هو ما نقصد به التشكل أو التميز أو التكشف (شكل ١) .

والغالبية العظمى من علماء فسيولوجيا النبات تعتبر النمو هو عبارة عن إنقسام للخلايا وإستطالة أو كبر لحجم الخلايا فقط وأن المرحلة الثالثة وهى التشكل أو التميز لا تعتبر أحد أطوار النمو . إلا أن البعض يعتبرون أن النمو يشمل الثلاث مراحل وهى الإنقسام والكبر فى الحجم والتشكل .

يجب التمييز بين تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis وبين التشكل أو التميز differentiationوبين النمو growth وبين تكوين ونشوء الأجزاء المختلفة للنبات development

يعتبر تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis هو عبارة عن تكوين أعضاء النبات المختلفة plant organs مثل الساق والأوراق والجذور والأزهار والثمار، يعتبر التشكل أو التمييز differentiation هو عبارة عن التغير التدريجى فى الخلايا أى تحول الخلايا المرستيمية إلى بارنشيمية أو كلولنشيمية أو ألياف أو أنابيب غربالية وخلايا مرافقة أو أوعية خشب أو قصيبات أى هى عبارة عن تغيرات تحدث فى تكوين شكل الخلية لكى تأخذ الخلية الشكل النهائى والذى يتلائم مع وظيفتها . حيث أن الخلايا البارنشيمية تقوم بالتخزين للمواد الغذائية مثل النشا وتقوم الخلايا الكلورنشيمية بعملية البناء الضوئى وتقوم الألياف بالتدعيم وتقوم الأنابيب الغربالية بنقل الغذاء المجهز من الأوراق إلى سائر أجزاء النبات وتقوم الأوعية الخشبية بنقل الماء وما به من عناصر ذائبة إلى الأوراق. تعتبر التغيرات الوصفية qualitative chang-es فى الخلية وفى محتويات الخلية مقياس للتشكل. يعتبر النمو growth عبارة عن أنقسام وأستطالة وكبر الخلايا. يعتبر نشوء وتكوين الأجزاء المختلفة للنبات هو plant development أى بعبارة أخرى هو النمو وتكوين الشكل الظاهرى والتشكل أى يشمل الثلاث حالات السابق ذكرها من نمو وتشكل للخلايا وتكوين أعضاء النبات.



شكل (١) : خطوات النمو والتشكل

(١ إلي ٣) إنقسام الخلايا المرستيمية (نمو)

(٤) أستطالة الخلية وتكوين الفجوة العصارية والسيتوبلازم والنواه (نمو) .

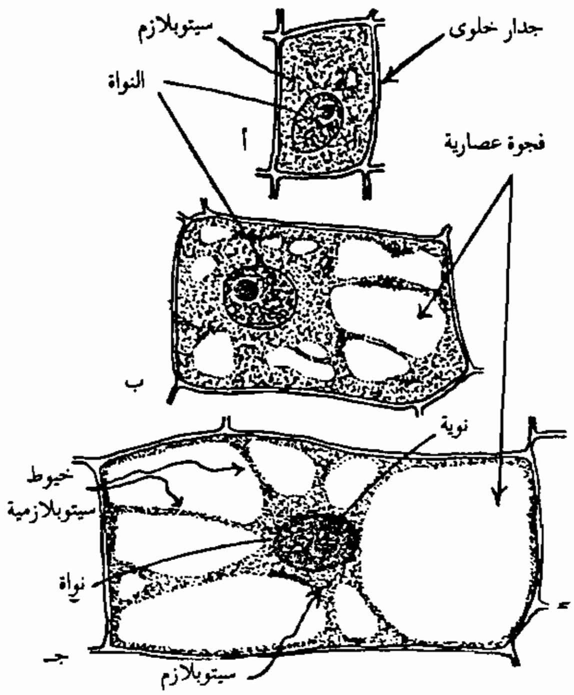
(٥ ـ ٦) تشكل الخلايا لتكوين خلية وعاء خشبى حلزونى التغليظ وتحلل السيتوبلازم والنواه وتصبح خلية ميتة (تشكل) .

الخلايا والأنسجة المرستيمية

الأنسجة المرستيمية meristems هى أنسجة تتكون من خلايا ذات قدرة على الإنقسام والنمو، ولهذا فهى توجد فى مناطق النمو بالنبات، وتمتاز الخلايا المرستيمية بجدرها الرقيقة غير المغلظة وإحتوائها على سيتوبلازم كثيف ونواة كبيرة نسبياً، مع وجود فجوات صغيرة الحجم وقد تكون غير موجودة، إلا أنه فى بعض الخلايا المرستيمية مثل خلايا الكامبيوم الوعائى تكون الجدر سميكة نسبياً والفجوات كبيرة وواضحة . توجد الخلايا المرستيمية متراصة والمسافات البينية بينها غير واضحة الا بالفحص بالميكروسكوب الإلكترونى . تتحول بعض خلايا هذه الأنسجة إلى خلايا بالغة بأن تفقد خاصية الإنقسام، وتدخل فى مرحلتين متميزتين، الكبر فى الحجم extention والتشكل differentiation. المقصود بالتشكل هو أن تأخذ الخلية الشكل النهائى الذى يتلائم مع وظيفتها وذلك تبعا لنوع النسيج البالغ المتكون ، فى بعض الأحيان وتحت ظروف خاصة تستعيد بعض الخلايا البالغة قدرتها على الإنقسام متحولة إلى خلايا مرستيمية.

وعادة تحتوى الخلايا المرستيمية والحديثة على فجوات صغيره وعديدة، ومع النضج يقل عدد الفجوات بالخلية وتزداد فى الحجم، وفى النهاية قد تتمدد الفجوات ويصبح بالخلية فجوة واحدة كبيرة. وأحياناً قد يمتد خلال الفجوة العصارية الكبيرة خيوط سيتوبلازمية (شكل ٢).

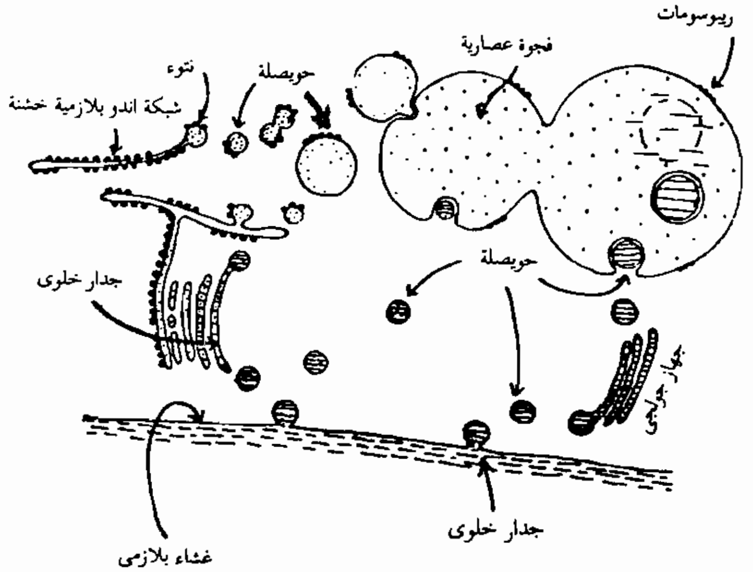
أما عن كيفية تكوين هذه الفجوات فإنه تتكون نتوءات صغيرة على الشبكة الإندوبلازمية وتنفصل هذه النتوءات على هيئة حويصلات صغيرة وهذه الحويصلات تنتفخ وتتحد مع بعضها لتكون حويصلات أكبر، وهذه بدورها تتحد مع الحويصلات الأكبر منها وفى النهاية تتكون فجوة أو فجوات عصارية كبيرة. كما أن أجسام جولجى ينطلق منها أيضاً حويصلات منها ما يستعمل فى بناء الغشاء البلازمى والجدار الخلوى ومنها ما يتحد بالفجوة العصارية (شكل ٣).



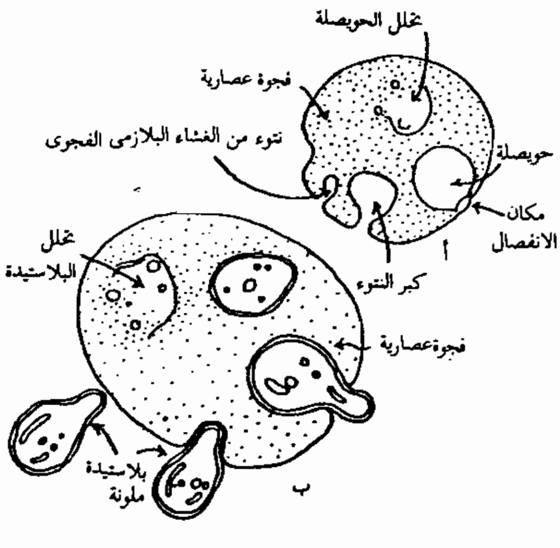
شكل (٣) : نمو وتشكل الخلايا .
(أ ـ جـ) خطوات تكوين خلية بالغة من خلية مرستيمية .

فى بعض الخلايا المرستيمية والعادية نجد أن الفجوات العصارية تحتوى على أنزيمات عديدة تحلل DNA , RNA والبروتين والنشا ويكون لها القدرة على أخذ أجزاء من السيتوبلازم وتحليلها بداخلها، ومثل هذه الفجوات تسمى الفجوات العصارية الملتقمة Autophagic vacuoles .

أما عن كيفية أخذ الفجوة العصارية لأجزاء السيتوبلازم فهى تختلف بإختلاف الخلايا، فى بعض الخلايا نجد أن الفجوة العصارية تلتقم البلاستيدة أو الميتوكوندرية، وفى البعض الآخر نجد أن الغشاء البلازمى الفجوى يكون نتواءت للداخل وكل نتوء يأخذ جزء من السيتوبلازم ويكبر فى الحجم تدريجياً ثم ينفصل عن الغشاء البلازمى الفجوى وبذلك يوجد بداخل الفجوة حويصلات جدارها عبارة عن جزء من الغشاء البلازمى الفجوى وبداخلها جزء من السيتوبلازم (شكل ٤) .



شكل (٣) : خطوات تكوين الفجوة العصارية والغشاء البلازمي والجدار الخلوي .



شكل (٤) : فجوات عصارية ملتقمة

أ) فجوة عصارية تكون من غشائها البلازمى حويصلات .

ب) فجوة عصارية وخطوات التقام بلاستيدة ملونة .

ونتيجة لوجود الفجوات العصارية الملتقمة يقل حجم البروتين ويكبر حجم الفجوة العصارية مع كبر الخلية وذلك ما يحدث فى أثناء تكوين خلايا الأنابيب الغربالية وقد يستهلك البروتوبلازم تماماً وتصبح الخلية ميتة كما فى الأوعية الخشبية والقصيبات .

ويمكن تقسيم الأنسجة المرستيمية على أسس عديدة منها:

أولاً: عدد مستويات الإنقسام التى تنقسم بها الخلية المرستيمية

١ ـ مرستيم عمودى Rib meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى مستوى واحد فقط، ولذلك ينتج عن الإنقسام صف واحد من الخلايا. ويساعد ذلك على زيادة نمو العضو النباتى فى الطول كما يحدث عند تكـوين نخاع الساق وعنق الورقـة.

٢ ـ مرستيم طبقى Plate meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى مستويين فقط، ولذلك يكون النسيج الناتج بشكل طبقى ويساعد ذلك على زيادة مساحة السطح كما فى الأوراق.

٣ ـ مرستيم كتلى Mass meristem : وينتج عن إنقسام الخلية فى أكثر من مستويين، ويساعد على زيادة حجم النسيج فى جميع الإتجاهات، كما يحدث عند تكوين إندوسبرم ونخاع وقشرة بعض النباتات.

ثانيا: منشأ المرستيم

١ ـ مرستيم Primary meristem : وينشأ عن إستمرار إنقسام خلايا الجنين كما فى النسيج المرستيمى القمى للسيقان أو الجذور الإبتدائية ومبادئ الأوراق والكمبيوم الحزمى. الأنسجة البالغة الناتجة عن نمو وتشكل خلايا المرستيم الإبتدائى تعرف بالأنسجة الإبتدائية وينتج عنها تكوين جسم النبات الإبتدائى الكامل.

٢ ـ مرستيم ثانوى Secondary meristem : وينشأ المرستيم من خلايا بالغة، إستعادت القدرة على الإنقسام، وغالباً ما تكون برنشيمية، وذلك كما فى الكامبيوم

بين الحزمى وكامبيوم الجروح. يبنى المرستيم الثانوى أنسجة إضافية تعرف بالأنسجة الثانوية تحل محل أو تضاف إلى الأنسجة الإبتدائية.

ثالثا: موضع المرستيم فى النبات

١ ـ مرستيم قمى Apical meristem : توجد فى القمة النامية للجذور والسيقان وبعض أوراق النباتات، وتسبب إستطالة العضو النباتى.

٢ ـ مرستيم بينى Intercalary meristem : وهو مرستيم إبتدائى غالباً، ينتج بعد تحول بعض أجزاء من المرستيم القمى إلى أنسجة بالغة وترك أجزاء بينها مرستيمية تعطى نمو طولى للعضو النباتى. وتشاهد عادة فى النباتات ذات الفلقة الواحدة فى قاعدة الأوراق وفى أجزاء من السلاميات.

٣ ـ مرستيم جانبى Lateral meristem : وهو مرستيم تنقسم خلاياه بجدر موازية لمحيط النبات مسبباً زيادة العضو النباتى فى السمك مثل الكامبيوم الوعائى والكامبيوم الفلينى.

الكامبيوم الوعائي

يعرف الكامبيوم الوعائى vascular cambium أيضاً بالنسج المرستيمى الوعائى، ويكون الكامبيوم الوعائى نسيجاً إبتدائياً إذا نشأ عن إستمرار إنقسام بعض خلايا المرستيم القمى. ويكون نسيجاً ثانوياً إذا نشأ عن تجدد النشاط الإنقسامى لبعض الخلايا البالغة، وعادة يكون خليطاً من الحالتين كما يحدث عند التغليظ الثانوى للسيقان والجذور. تنقسم خلايا الكامبيوم الوعائى بجدر موازية لمحيط العضو النباتى معطية لحاءاً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للداخل، كما تعطى خلايا الأشعة النخاعية والأشعة الوعائية. ويتسبب عن نشاط الكامبيوم الوعائى زيادة النمو فى السمك .

يوجد نوعان من خلايا الكامبيوم الوعائى. خلايا مغزلية وخلايا شعاعية. الخلايا المغزلية fusiform cells هى خلايا طويلة فى اتجاه المحور الطولى للعضو النباتى،

نهايتيها مسحوبة قليلا، ويتكون منها خلايا أنسجة الخشب واللحاء. فعند انقسام خلية مغزلية تعطى خليتين تبقى احداهما مرستيمية وتتحول الأخرى إذا كانت خارجية إلى خلية نسيج لحاء، أما إذا كانت داخلية فتتحول إلى خلية نسيج خشب، وبتكرار الإنقسام تعطى مرة خلية نسيج لحاء وأخرى خلية نسيج خشب. وقد يتم ذلك بالتساوى، وكثيراً ما يزيد معدل تكوين نسيج الخشب عن معدل تكوين نسيج اللحاء. والخلايا الشعاعية ray cells هى خلايا صغيرة متطاولة قليلا أو متساوية الأقطار تعطى عند إنقسامها الخلايا البرنشيمية المكونة للأشعة النخاعية والأشعة الوعائية يطلق على تحول الخلية المرستيمية إلى وعاء خشبى أو قصيبة أو ليفة أو أنابيب غربالية بالتشكل.

تشريح الجذر

يختلف التركيب النسيجى لجذر النبات حسب نوع النبات، وكذلك فى النبات الواحد حسب مناطق الجذر المختلفة، فمنطقة القمة النامية تختلف عن منطقة الإستطالة، وهذه تختلف عن منطقة الشعيرات الجذرية. وفى المنطقة الدائمة تختلف المناطق الأولى منها حيث تكون الأنسجة جميعها إبتدائية، عن المناطق التالية التى قد يحدث بها تغليظ ثانوى.

المرستيم القمي

تختلف نشأة المرستيم القمى apical meristem باختلاف المجاميع النباتية. قد ينشأ المرستيم القمى فى الجذر من خلية واحدة قمية apical cell هرمية الشكل عادة، ومن تلك الخلية القمية تتكون أنسجة الجذر المختلفة بما فيها القلنسوة، وذلك كما يحدث فى جذور كثير من النباتات السرخسية (شكل ٥).

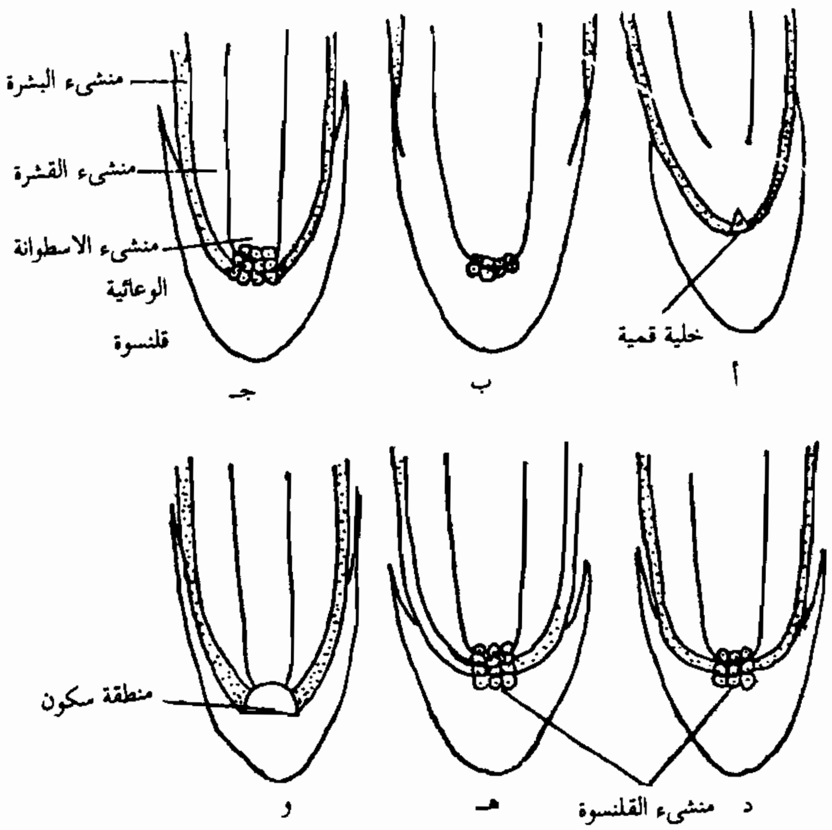
وقد ينشأ المرستيم القمى من مجموعتين من المبادىء المرستيمية initials، المجموعة الداخلية تعطى منشىء الإسطوانة الوعائية plerome، المجموعة الخارجية تنشأ منها البشرة والقشرة والقلنسوة ولا يوجد فى هذه الحالة حد فاصل بين منشىء القشرة ومنشئ القلنسوة وذلك كما فى جذور النباتات عاريات البذور (شكل ٥).

وقد ينشأ المرستيم القمى من ثلاثة مجاميع من المبادىء المرستيمية وذلك كما فى معظم النباتات كاسيات البذور، فتعطى المجموعة الداخلية منشىء الاسطوانة الوعائية وتعطى المجموعة الوسطية منشىء القشرة فى حالة النباتات ذات الفلقتين ومنشىء البشرة والقشرة معا فى حالة النباتات ذات الفلقة الواحدة، وتعطى المجموعة الخارجية منشىء البشرة والقلنسوة معا فى حالة النباتات ذات الفلقتين ومنشىء القلنسوة فقط فى حالة نباتات الفلقة الواحدة (شكل ٥).

وقد ينشأ المرستيم القمى من أربعة مجاميع من المبادىء المرستيمية وهى قليلة الوجود كما فى جذور بعض نباتات العائلة النجيلية ونبات الفول وبعض النباتات المائية، وهــى من الداخل إلى الخارج منشىء الاسطوانة الوعائية plerome ومنشىء القشرة periblem ومنشىء البشـرة dermatogen منشئ القلنسوة calyptrogen (شكل ٥).

باستخدام النظائر المشعة إتضح أنه يوجد فى المرستيم القمى لجذر البصل والذرة منطقة ساكنة quiescent zone لا تنقسم خلاياها أو تنقسم ببطء شديد، فى حين تكون الخلايا المحيطة بهذه المنطقة نشطة وتنقسم بسرعة لتكون الأنسجة المرستيمية المنشئة لأنسجة الجذر . والمنطقة الساكنة أقل تأثراً من الأنسجة الأخرى بالأضرار التى تلحق بالجذر، ولذلك فهى تستعيد نشاطها وتكون أنسجة جديدة إذا لحقت بأنسجة الجذر النشطة أضرار توقف نموها (شكل ٥).

بفحص الجذر فى منطقة الإستطالة يزداد تمييز كل من منشىء البشرة ومنشىء القشرة ومنشىء الإسطوانة الوعائية. وفى منطقة الشعيرات الجذرية يتم نضج الخلايا وتحدد الأنسجة الإبتدائية، فتتشكل خلايا البشرة وتنمو منها الشعيرات الجذرية التى تكبر ثم تختفى فى المنطقة الدائمة، كما تتحول خلايا منشىء القشرة إلى خلايا برنشيمية عادة تكون نسيج القشرة، أما منشىء الإسطوانة الوعائية فأول ما يتشكل وينضج منه هو نسيج البريسكل ثم نسيج اللحاء، وتتشكل أوعية الخشب التالى حيث تكبر فى الحجم وتظهر بها فجوات عصارية كبيرة، ولكن يتم نضج الخشب من الخارج إلى الداخل أى ينضج الخشب الأول أولاً ثم يليه الخشب التالى (شكل ٦).



(شكل ٥) : الانواع المختلفة لنشوء المرستيم القمى.

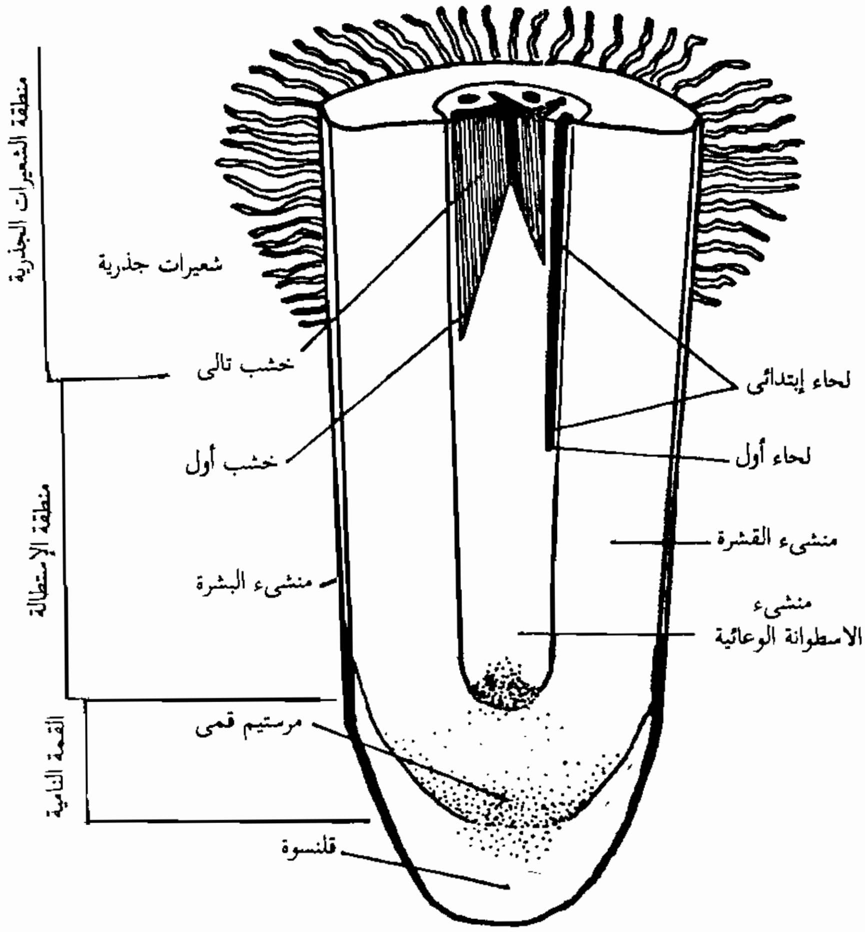
أ) من خلية واحدة قمية هرمية الشكل .

ب) من مجموعتين من المبادىء المرستيمية.

جـ ، د) من ثلاثة مجاميع من المبادىء المرستيمية .

هـ) من أربعة مجاميع من المبادىء المرستيمية.

و) الخلايا المرستيمية حول منطقة سكون .



(**شكل ٦**) : تحول الأنسجة المرستيمية فى الجذر إلى أنسجة ابتدائية

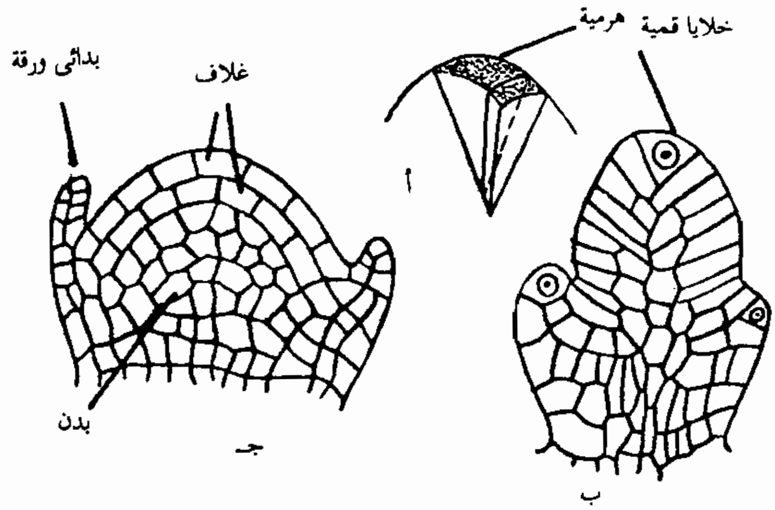
تشريح الساق

يختلف التركيب النسيجى لسيقان النباتات حسب أنواع تلك النباتات، وكذلك فى النبات الواحد حسب مناطق الساق، فمنطقة القمة النامية للساق تختلف عن منطقة الأنسجة الإبتدائية، وهذه تختلف عن منطقة التغليظ الثانوى .

القمة النامية للساق

بفحص النمو الطرفى للساق نلاحظ وجود قمة مخروطية إلى نصف كروية فى الشكل، تعرف بالمرستيم الإنشائى الأولى promeristem، تظهر على جوانبها السفلى نتوءات صغيرة تزداد طولا كلما إتجهنا إلى أسفل، وتعرف هذه النتوءات بمبادىء الأوراق leaf primordia. المرستيم الإنشائى الأولى بالإضافة إلى الأنسجة المرستيمية أسفله والتى لم تتشكل بعد إلى أنسجة ابتدائية وما يحيطها من مبادىء الأوراق يسمى بالمرستيم القمى apical meristem ويعرف المرستيم القمى بالقمة النامية، وتعرف القمة النامية بما تغلفها من أوراق صغيرة بالبرعم الطرفى apical bud.

توجد أنواع عديدة من القمم النامية تختلف بإختلاف النبات فقد تتكون القمة النامية من خلية واحدة قمية ينتج عنها النمو وذلك كما فى كثير من الطحالب والنباتات الحزازية وبعض النباتات التيريدية. وتوجد أشكال عديدة للخلية القمية أكثرها شيوعاً النوع الموجود فى الطحلب البنى ديكتيوتا *Dictyota* الذى ينمو من خلية قمية عدسية الشكل تنقسم لتكون باقى جسم النبات وهذا الطحلب يعطى تفريعاً ثنائياً. والنوع الثانى للخلية القمية يوجد فى النبات التيريدى اكويسيتم *Equise-tum*، والخلية القمية فيه هرمية الشكل، قاعدتها إلى أعلى، وقمتها إلى أسفل، ولها أربعة أسطح، سطح علوى أفقى وثلاثة أسطح جانبية، ويحدث إنقسام الخلية القمية بجدر موازية للأسطح الثلاثة الجانبية مسبباً زيادة ساق النبات طولا وسمكا (شكل ٧).



(شكل ٧) : أنواع القمم النامية

أ) خلية قمية هرمية منقسمة

ب) قمة نامية للنبات التيريدى اكويستيم

جـ) قمة نامية مكونة من غلاف وبدن

توجد نظريات مختلفة لتفسير طريقة التكشف فى سيقان النباتات الزهرية. أكثر هذه النظريات قبولا تعرف بنظرية الغلاف والبدن tunica corpus theory وتفترض هذه النظرية أن المرستيم الانشائى الأولى للساق يتكون من جزئين هما الغلاف tuni-ca والبدن corpus يتكون الغلاف من طبقة أو أكثر من الخلايا تكون الجزء الخارجى الطرفى من القمة النامية تنقسم خلايا الغلاف بجدر عمودية على السطح الخارجى للقمة النامية مسببة زيادة السطح الخارجى للقمة النامية. يتكون الغلاف عادة، من طبقتين إلى أربع طبقات فى النباتات ذات الفلقتين ومن طبقة واحدة أو طبقتين فى النباتات ذات الفلقة الواحدة. كذلك نجد أن عدد طبقات الغلاف قد تختلف فى النبات الواحد فهى أكثر عددا فى الأفرع الرئيسية عنها فى الأفرع الجانبية . يحيط الغلاف بالبدن الذى يتكون من كتلة من الخلايا المرستيمية التى تنقسم فى جميع الإتجاهات مسببة كبر القمة النامية فى الحجم (شكل ٧).

ويؤدى الإختلاف فى سرعة نمو كل من الغلاف والبدن إلى تكوين مبادىء الأوراق، حيث نجد فى بعض الحالات أن مبادىء الأوراق، تنتج من إنقسام الغلاف فقط. لهذا فإن زيادة النمو السطحى للغلاف عن معدل النمو الحجمى يسبب تكوين مبادىء الأوراق.

فى بعض الحالات يكون التمييز غير واضح بين الغلاف والبدن، وفى هذه الحالة نجد أن الغلاف ينقسم بجدر عمودية على السطح وأحياناً موازية للسطح، ويحدث ذلك فى كثير من النباتات عاريات البذور مثل الصنوبر وقد لا يتميز المرستيم الإنشائى الأولى إلى غلاف وبدن حيث تنقسم الخلايا الخارجية الطرفية للقمة النامية بجدر عمودية وموازية للسطح، وذلك كما فى بعض السرخسيات والأنواع البدائية من النباتات عاريات البذور كالسيكادات.

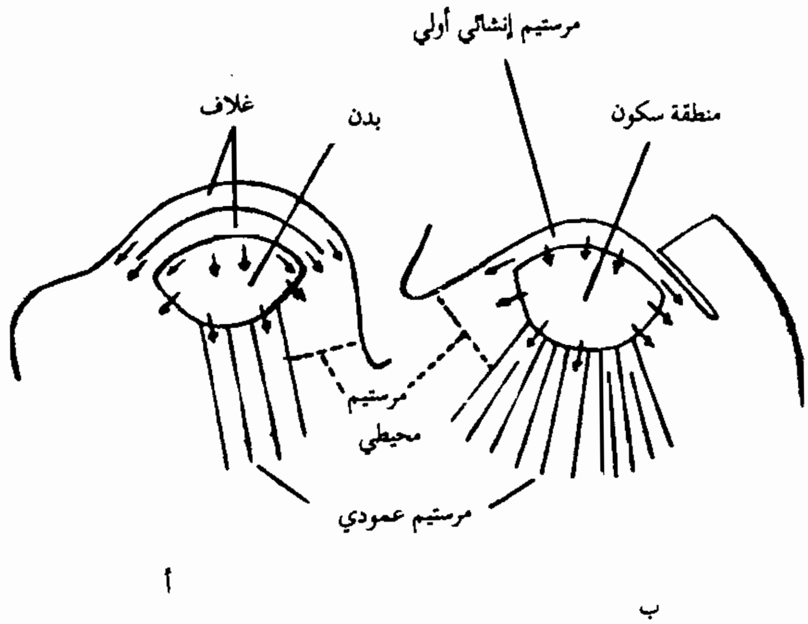
أسفل منطقة الغلاف والبدن توجد منطقة وسطية يبدأ فيها تخصص الأنسجة المرستيمية فسيولوجيا، فالطبقة الخارجية من الغلاف تكون منشىء البشرة protoderm والذى يستمر فى الإنقسام بجدر عمودية على السطح الخارجى مكونا البشرة . وتنقسم باقى الطبقات الداخلية للغلاف إن وجدت فى إتجاهات مختلفة مكونة مرستيم محيطى peripheral، ويتكون بقية المرستيم المحيطى من الجزء الجانبى من البدن. والمرستيم المحيطى هو المسئول عن زيادة القمة النامية فى السمك والطول. يتكشف المرستيم المحيطى بعد ذلك إلى الجزء الخارجى من المرستيم الأساسى ground meristem الذى يعطى بإنقسامه وتشكله نسيج القشرة والأشعة النخاعية والبروكامبيوم procambium، الذى يعطى بإنقسامه وتشكله الحزم الوعائية. الجزء الوسطى من البدن يعطى مرستيم عمودى rib meristem وذلك بإنقسام خلاياه بجدر عمودية على السطح الخارجى فيعطى صفوفاً رأسية من الخلايا، التى تكون الجزء الداخلى من المرستيم الأساسى وهو المسئول عن النمو الطولى للقمة النامية، الذى يعطى بإنقسامه وتكشفه نسيج النخاع (شكل ٨). يحدث معظم الإنقسام فى منطقة البدن فى الجوانب والقاعدة، وأقلها فى الجزء المركزى. وفى بعض النباتات

كالصنوبر توجد فى منطقة البدن منطقة سكون ثابتة لا تنقسم خلاياها، وينشأ المرستيم المحيطى والعمودى من الخلايا المرستيمية المحيطة بقاعدة وجوانب هذه المنطقة (شكل ٨).

قياس النمو

The Measurement of Growth

يمكن تعريف النمو أنه زيادة غير عكسية irreversible increase فى الحجم وذلك لاستبعاد حالات الضغط الأسموزى المختلفة وإنتفاخ الخلايا حيث أن إنتفاخ الخلايا فى هذه الحالات يكون عكسى وأيضاً إستبعاد حالة إنتفاخ الخشب نتيجة لتشربه بالماء.



(**شكل ٨**) : تكشف المرستيم الانشائي الأولي فى (أ) و (ب) الصنوبر .

يستعمل فى قياس النمو الطول أو المساحة أو الوزن. يمكن قياس حجم النسيج بقياس أبعاده. يمكن قياس الوزن الرطب fresh weight بالميزان. تعتبر القياسات للطول أو الوزن أو المساحة أكثر تفضيلا عن قياس الحجم.

يعتبر قياس النمو الطولى للساق أحد القياسات المقبولة والتى تعطى فكره عامة عن نمو النبات حيث أن نمو الساق مرتبط بنمو النبات. ولذلك فإن نمو عضو معين مثل الساق يمكن أن يكون دليل على نمو النبات. تعتبر أيضاً القياسات الطولية للخلايا linear measurement دليل على نمو الخلية. يمكن عمل علاقة أو إرتباط بين قياسات النمو الطولى والحجم أو الوزن وذلك بقياس النمو الطولى يمكن التكهن prediction بالحجم أو الوزن كما فى المعادلة الآتية.

$$\log y = K \log x + \log b$$

حيث أنه

y = الحجم أو الوزن

x = الطول أى قياس الطول linear measurement

k = معامل إرتباط correlation coefficient

b = ثابت constant

يمكن أيضاً إستعمال مساحة الأوراق كدليل على حالة النمو . يمكن حساب مساحة الأوراق بطرق عديدة منها ورق المربعات أو البلانيمتر أو أجهزة متخصصة فى قياس شدة الضوء الممتص أو بواسطة التصوير. يمكن الربط بين قياس المساحة للأوراق وبين طولها وعرضها فى عينات من الأوراق. بعد ذلك يمكن إستنتاج مساحة الورقة بقياس طولها وعرضها فقط من المعادلة الأتية:

$$A = K.L.W$$

A = مساحة الورقة

L = طول الورقة

W = عرض الورقة

K = معامل الإرتباط

تستعمل قياسات الوزن الجاف بكثرة لتقدير النمو. بعتبر قياس الوزن الجاف من أفضل وأدق طرق قياس النمو وهى تستعمل بكثرة. يمكن قياس الإنتاجية الإبتدائية primary productivity للنبات أو للنباتات عن طريق قياس الوزن الجاف. ويمكن تقدير الإنتاجية الإبتدائية تبعاً للمعادلة التالية:

$$Pn = \Delta\ B + L$$

Pn = وزن المادة الجافة المتكونة فى مدة القياس أو مدة التجربة net dry-matter أى الزيادة فى وزن المادة الجافة الكلية .

Δ B = الزيادة الكلية فى الوزن الجاف فى فترة التجربة net dry-matter production

L = الفقد فى المادة الجافة نتيجة لموت النبات أو تغذية الحيوان عليه فى فترة التجربة.

لا يدخل فى حساب Pn الفقد بواسطة التنفس. وفى حالة حساب الفقد نتيجة للتنفس فى هذه المعادلة يسمى الناتج من هذه المعادلة Pg أى gross productivity بدلا من Pn.

حركيات النمو Growth Kinetics

قبل شرح حركيات النمو فى النباتات الراقية سيتم شرح حركيات النمو فى الكائنات وحيدة الخلية كالبكتريا والخميرة والتى تتكاثر بالإنقسام البسيط أو بالتبرعم وأيضا فى النباتات عديدة الخلايا والتى تتكاثر بطريقة تشبه التبرعم مثل *نبات Lemna* ومنه عدس الماء *Lemna minor*

أ ـ حركيات النمو فى الكائنات الحية الدقيقة أو ما يشابهها:

ومن أمثلة هذه الكائنات البكتريا والخميرة والطحالب وحيدة الخلية مثل الكلاميدوموناس واليوجلينا ويمكن تطبيق ذلك على النادر من النباتات الزهرية مثل عدس الماء.

عند وجود الكائن الحى الدقيق فى ظروف بيئية غير متغيرة فإن سرعة إنقسام الكائن الحى تكون ثابتة. مع إفتراض آخر أن جميع الخلايا الناتجة تنقسم تلقائياً فى آن واحد. وفى هذه الحالة فإن الخلية الواحدة تنقسم لتصبح خليتين أى عدد الخلايا بعد الجيل الأول ويرمز له الرمز n

n = ١ × ٢ = ٢

وإذا حدث إنقسام آخر تصبح n بعد الجيل الثانى

n = ١ × ٢ × ٢ = ٤ أى ١ × ٢^٢

وإذا حدث إنقسام ثالث تصبح n بعد الجيل الثالث

n = ١ × ٢ × ٢ × ٢= ٨ أى ١ × ٢^٣

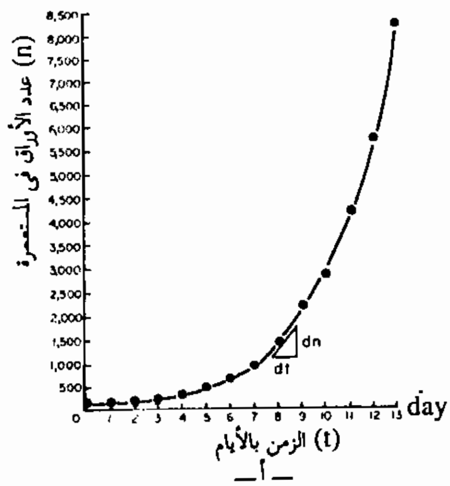
إذن فعدد الخلايا الناتجة n بعد مرور عدد من الأجيال يرمز له x يصبح

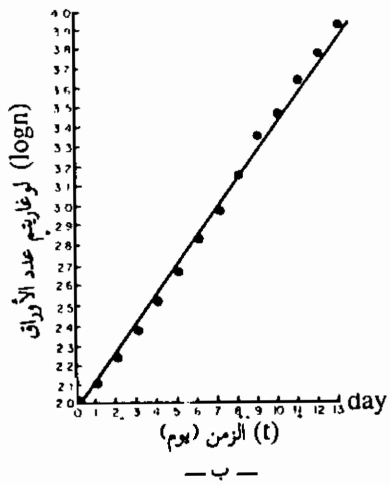
n = ١ × ٢^x

وعادة لا يبدأ الأنقسام بخلية واحدة حيث يوجد مجموع من الخلايا قد يكون قليل أو متوسط أو كثير ويرمز لذلك العدد من الخلايا عند بداية الإنقسام الأول بالرمز n_o

$$n = n_o \times 2^x$$

يمكن رسم منحنى من المعادلة حيث يتم وضع n على المحور الصادى وعدد الأجيال أو الزمن على المحور السينى (شكل ٩).





(شكل ٩) : منحنيات النمو لنبات عدس الماء

أ ـ العلاقة بين عدد المتورقات fronds (الأوراق) والزمن

ب ـ العلاقة بين لوغاريتم عدد المتورقات والزمن .

يمكن كتابة المعادلة السابقة كما يأتى

$$\log n = \log n_0 + x\log 2 \qquad (١)$$

يتضح من المعادلة السابقة أن العلاقة بين عدد الخلايا الناتجة وعدد الأجيال ولكن عملياً والأكثر وضوحاً وتطبيقاً هو إيجاد العلاقة بين عدد الخلايا الناتجة n والزمن t .

وإذا كان الزمن اللازم لحدوث عدد من الأجيال ويرمز له بالرمز x وأن مدة الجيل يرمز لها بالرمز g فإن

$$x = t/g$$

وبالتعويض فى المعادلة (1) فإن المعادلة يمكن كتابتها كالآتى :ـ

$$\log n = \log n_0 + t/g \log 2$$

يعتبر log2/g ثابت ويرمز له k

ولذلك فإن المعادلة تصبح

$$\log n = \log n_o + kt \quad (٢)$$

تعتبر المعادلة السابقة linear equation من النوع .... $y = a + bx$

حيث أن $\log n_o$ عبارة عن a

وحيث أن k عبارة عن b

ولذلك عند رسم منحنى بيانى من المعادلة السابقة وذلك بوضع لوغاريتم عدد الخلايا الناتجة بعد الإنقسام على المحور الصادى ووضع الزمن t على المحور السينى فإن المنحنى الناتج يكون خط مستقيم (شكل ٩).وقد وجدت هذه العلاقة فى كثير من الكائنات الذى تتكاثر بالإنقسام مثل البكتريا أو بالتبرعم مثل الخميرة وعدس الماء.وتسمى الكائنات التى تزيد فى العدد تبعاً للمعادلة السابقة وينتج عنها خط مستقيم بأنها تزداد logarithmic أى exponentially.

فى حالة المنحنى (شكل ٩) يوضح الزيادة فى عدد وحدات fronds فى نبات عدس الماء فى المستعمرة ولذلك فإن سرعة النمو فى المستعمرة growth rate عند أى زمن تكون نتيجة للزيادة فى عدد الوحدات fronds و يرمز له dn فى زمن معين dt ولذلك فإن

growth rate سرعة النمو $= dn/dt$

تمثل قيمة dn/dt درجة ميل slope المنحنى عند زمن معين t ويكون أى زمن مطلوب. حيث أن سرعة النمو تختلف بإختلاف الزمن وحيث أن درجة الميل تزداد تدريجيا مع الزمن. وفى حالة إنقسام جميع الخلايا بنفس السرعة r فى أى زمن t فإن سرعة نمو المستعمرة تكون متناسبة مع عدد الخلايا أى $dn/dt \alpha\ n$

وحيث أن سرعة إنقسام الخلايا ثابتة r فإنه بمرور الزمن يزداد العدد الكلى للخلايا أو fronds. ولذلك فإن القيمة r تكون عبارة عن الزيادة فى عدد الخلايا فى فترة زمنية محددة محدودة مقسومة على عدد الخلايا أو fronds المنقسمة ولذلك تكون المعادلة كالآتى

$$r = \frac{dn}{dt} \cdot \frac{I}{n}$$

تعتبر قيمة r فى المعادلة السابقة عبارة عن سرعة نمو نسبية relative growth rate يتضح أن سرعة النمو الكلية أو المطلقة absolute growth rate تزداد مع الزمن ولكن تبقى سرعة النمو النسبية ثابتة .

ولذلك يمكن كتابة المعادلة رقم ٢ وهى

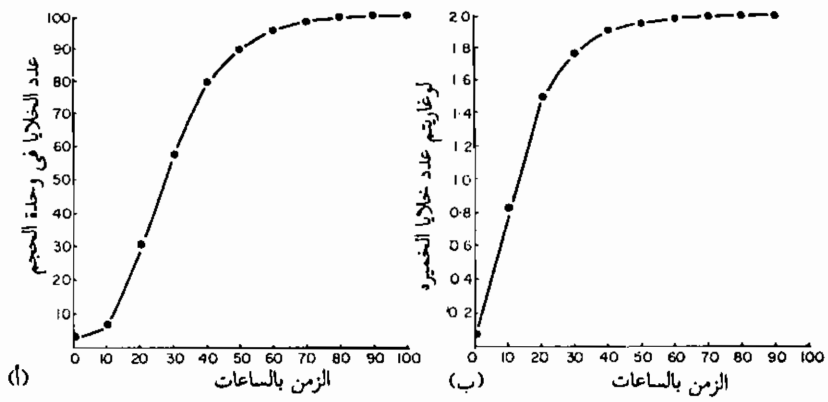
$$\log n = \log n_0 + kt$$

فى الشكل الآتى

$$n = n_0 e^{kt} \qquad (٣)$$

حيث أن e هى الأساس للوغاريتم وهى تساوى ٢,٧١٨٢ .

ولكن فى الطبيعة لايستمر النمو للمستعمرة إلى مالا نهاية حيث توجد عوامل فى البيئة تقلل من سرعة النمو وهكذا حتى يتوقف النمو تماماً ومثال ذلك قلة مصدر الغذاء فى البيئة أو تكون إفرازات سامة إلخ . ومثال ذلك فى أنبوبة الإختبار فى المعمل أو فى طبق بترى أو فى بيئة مائية لعدس الماء فإن مصدر الغذاء فى البيئة يقل وهكذا حتى يتوقف النمو ولذالك فإن بدلاً من وجود منحنى من نوع exponential لعدد الخلايا أو fronds فإننا سنحصل على منحنى sigmoid (شكل ١٠) . حيث تزداد سرعة النمو حتى حد معين ثم تقل تدريجياً حتى صفر . ولكن عند وضع log n على المحور الصادى ووضع الزمن على المحور السينى فإن المنحنى سيكون مستقيم نتيجة لزيادة سرعة النمو ثـم يقل النمو ولذلك يحدث إنحناء للمنحنى (شكل ١٠) . من المعروف أنه تتكون مركبات ضارة أو سامة تسبب ضعف أو وقف النمو staling factors فى مزارع البكتريا والخميرة والفطريات والطحالب مثل *Chlorella* .



(شكل ١٠) : منحنيات النمو لخلايا الخميرة

أ ـ العلاقة بين عدد خلايا الخميرة في وحدة الحجم والزمن .

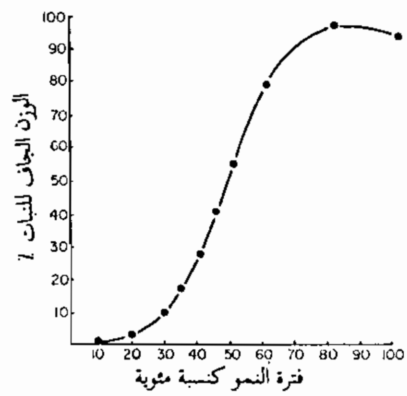
ب ـ العلاقة بين لوغاريتم عدد خلايا الخميرة فى وحدة الحجم والزمن .

ب ـ حركيات النمو فى الكائنات عديدة الخلايا:

١ ـ المراحل الأولى والوسطية من النمو

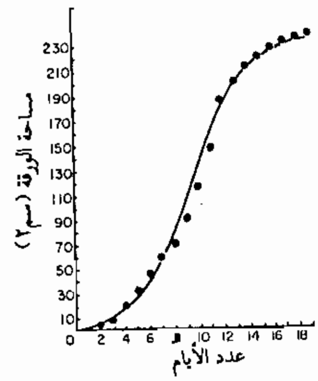
يعتبر منحنى شكل حرف S أى منحنى sigmoid أى S-shaped curve السابق شرحه فى الكائنات والنباتات وحيدة الخلية وما يشابها يماثل تماماً منحنى النمو للنباتات الزهرية وعاريات البذور والسرخسيات (شكل ١١).

الوزن الجاف للنبات ٪



(شكل ١١) : منحنى النمو لنبات الشعير

وعلاوة على ذلك يماثل منحنى نمو أى عضو مـن أعضاء النبات individual organs مثل الأوراق أو السلاميات (شكل ١٢).



(شكل ١٢) : منحني النمو لورقة نبات الخيار

يزداد حجم أو وزن النبات الجاف فى المراحل الأولى geometrical progression or exponentially. ولقد وضح عالم فسيولوجى النبات القديم V.H. Blackman عام ١٩١٩ أن نمو المرحلة الأولى من نمو البادرات تتبع قانون الفائدة المركبة compound interest law فى نموها وذلك كما فى المعادلة رقم ٤

$$W = W_O \ e^{rt} \quad (٤)$$

حيث أن

w = وزن النبات بعد زمن معين من بداية التجربة ويرمز له t عادة الوزن الجاف.

o = وزن النبات عند بداية التجربة أو القياس. عادة الوزن الجاف.

r = سرعة النمو النسبية مقدرة بالوزن وكانت تقدر بسرعة إنقسام الخلايا.

e = قاعدة اللوغاريتم الطبيعى ويسمى exponential coefficient .

يمكن أن نقارن المعادلة رقم ٤ بالمعادلة رقم ٣ وهما تقريباً متماثلتان.

يمكن كتابة المعادلة رقم ٤ كما يلى :

$$\log W = \log W_0 + rt \log e$$

هذه المعادلة تكون أيضاً من نوع المعادلة:

$$y = a + bx$$

يعنى ذلك أننا لابد أن نحصل على خط مستقيم عند وضع لوغاريتم الوزن على المحور الصادى والزمن t على المحور السينى وذلك فى المراحل الأولى من النمو على الأقل . حيث يمكن أن يكون الخط مستقيم أو يكون مستقيم ثم منحنى.

ومن المعادلة رقم ٤ يتضح أن الوزن الجاف النهائى dry weight يعتمد على الوزن الجاف عن بداية التجربة Wo وعلى سرعة الربح rate of interest أى سرعة الزيادة فى الوزن الجاف ويرمز له r وعلى الزمن ويرمز له بالرمز t. سرعة الربح تمثل كفاءة النبات فى إنتاج مادة جديدة أى تخليق مركبات جديدة أى سرعة البناء وقد سماه Blackman دليل كفاءة إنتاج الوزن الجاف efficiency index of dry weight production حيث أن فرق بسيط بين نباتين فى هذا الدليل أى فى الإنتاج يسبب فرق كبير وملحوظ فى المحصول الكلى total yield ويزداد الفرق كلما زادت فترة النمو .

يجب ملاحظة أن دليل الكفاءة efficiency index هو عبارة عن سرعة النمو النسبية relative growth rate أى عبارة عن.

$$dW / W . dt$$

وذلك كما سبق شرحه فى نمو مستعمرات الكائنات وحيدة الخلايا .

عندما يكون efficiency index أى سرعة النمو النسبية relative growth rate تبقى ثابتة أثناء exponential growth phase فإن الزيادة المطلقة absolute increments فى وحدة الزمن per unit time تزداد. ولذلك فإن الزيادة المطقة absolute increments فى النمو فى فترة زمنية dt يكون

$$\left(W \times \frac{r}{100} \right) . dt$$

ولذلك فإن سرعة النمو المطلقه فى أى وقت أو فى أى فترة زمنية تكون منسوبة أو نسبية proportional إلى حجم النبات فى ذلك الوقت. ويمكن شرح ذلك أنه فى حالة البادرة وعندما يصبح البناء الضوئى فعال فى هذه المرحلة من حياة النبات فإن قدرة النبات على تخليق مركبات جديدة أى قدرة النبات على البناء ويعبر عنها بالوزن الجاف للبادرة يتوقف أساساً على مساحة سطح الورقة أو الأوراق لهذه البادرة. أى بمعنى آخر يزداد النمو أى يزداد الوزن الجاف كلما زادت مساحة الأوراق. أى أن النمو أى الوزن الجاف له علاقة بمساحة الأوراق وأنه يتناسب معها.

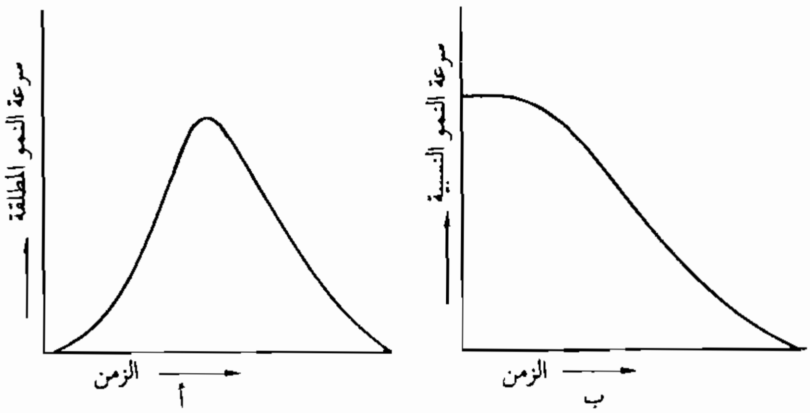
وبعد مرحلة البادرة فإن النبات ينمو وتزداد مساحة الأوراق. ولذلك فأن سرعة البناء أى سرعة تخليق مواد جديدة أى سرعة زيادة الوزن الجاف سوف تزداد تبعاً لزيادة مساحة الأوراق

٢ ـ المراحل الأخيرة من النمو Later Phases of Growth

يحدث فى النباتات الزهرية والسرخسية وعاريات البذور ما يحدث فى الكائنات وحيدة الخلية أو ما يشابها حيث أنه فى المراحل الأخيرة من النمو تقل سرعة النمو تدريجياً وينتج عن ذلك منحنى sigmoid ولذلك يمكن تقدير سرعة النمو المطلقة فى الكائنات الوحيدة الخلية وكما سبق ذكره بواسطة قياس درجة ميل slope للمنحنى أى dn/dt أما فى حالة النباتات الزهرية وما يشابهها فإن ذلك يحدث أيضاً بقياس درجة ميل المنحنى dw/dt أى فى أى فترة زمنية . وعند رسم الناتج على منحنى حيث يوضح سرعة النمو المطلقة على المحور الصادى والزمن على المحور السينى فسينتج منحنى يشبه منحنى التوزيع الطبيعى (شكل ١٣ أ). حيث نجد فى هذا المنحنى قمة هى عبارة عن مكان (الأنحناء أو تغيير الإتجاه فى منحنى sigmoid وهذه القمة هى عبارة عن سرعة النمو العظمى maximum للنبات أو للعضو النباتى وبعد ذلك تقل سرعة النمو تدريجياً حتى تصبح صفر . وفى حالة أخرى عندما ننسب سرعة النمو النسبية إلى الزمن أى

$$dw / w . dt$$

فإننا نحصل على منحنى معين (شكل ١٣ ب) .



(شكل ١٢) : منحنيات النمو

أ ــ سرعة النمو المطلقة
ب ــ سرعة النمو النسبية

ومما سبق يتضح أن سرعة النمو النسبية relative growth rate (RGR) تستمر ثابتة فى المراحل الأولى والمتوسطة ولكن فى المراحل الأخيرة فإنها تقل. تختلف التغيرات فى RGR بالنسبة للزمن أى بالنسبة لعمر النبات من نبات إلى آخر ومن ظروف بيئية إلى أخرى. أحياناً قليلة وجد أنه يقل تدريجياً بإنتظام ثابت منذ بداية النمو ولذلك لا تحدث مرحلة الخط المستقيم exponential phase .

تعتبر الأوراق هى الأجزاء التى تدخل مباشرة فى تخليق مركبات جديدة أو بمعنى آخر هى العضو أو الأجزاء الرئيسية التى تسبب البناء أى تخليق مركبات جديدة وأيضاً هى المسئولة عن نقص سرعة البناء تدريجياً . ولذلك توجد علاقة وثيقة بين مساحة الورقة والوزن الجاف للنبات ولذلك فإن المعادلة الخاصة بمساحة الأوراق إلى وزن النبات الجاف تقل أيضاً قيمتها تدريجياً فى المراحل الأخيرة من عمر النبات

$$\text{leaf / weight ratio (LWR)} = \frac{\text{total leaf area (L)}}{\text{total dry weight (W)}}$$

$$LWR = \frac{\text{المساحة الكلية للأوراق}}{\text{الوزن الجاف للنبات}}$$

ولذلك فإن سرعة النمو النسبية تقدر كما فى المعادلة التالية :

$$RGR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{I}{w}$$

وعند حساب مساحة الأوراق فى المعادلة السابقة وذلك بالقسمة على مساحة الورقة أى L فإن المعادلة تكون كالتالى :

$$RGR = \frac{dW}{L} \cdot \frac{L}{W} \cdot \frac{I}{dt}$$

تعبر المعادلة الآتية عن صافى سرعة البناء net assimilation rate (NAR)

$$NAR = \frac{dW}{L} \cdot \quad dt$$

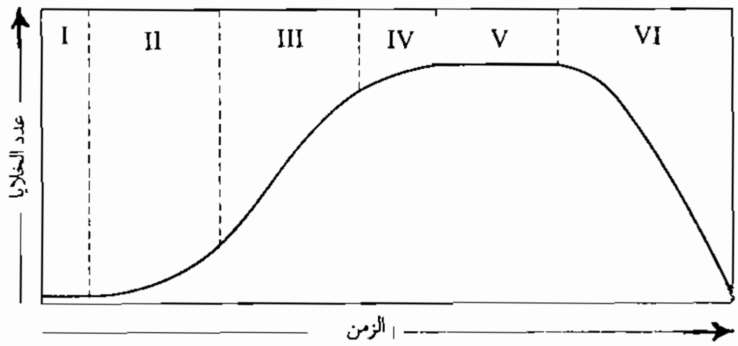
وتعبر المعادلة السابقة عن قياس سرعة الزيادة فى الوزن الجاف لكل وحدة مساحة للأوراق نتيجة لعملية البناء الضوئى مطروحاً منها الفقد فى الوزن نتيجة للتنفس ولذلك تعتبر صافى سرعة البناء . ولذلك تعتبر NAR هى مقياس لكفاءة النبات فى إنتاج الوزن الجاف . وفيما يلى سيتم دمج ثلاث قياسات فى المعادلة التالية .

$$RGR = NAR \times LWR$$

عامه تنخفض قيم NAR وLWR فى المراحل الأخيرة من النمو وينتج عن ذلك خفض قيمة RGR. وتقدير قيمة RGR لمحاصيل عديدة دليل هام واضح على سرعة نموها.

توجد أمثلة كثيرة توضح وجود منحنى sigmoid فى النباتات وحيدة الخلية مثل الطحالب وفى النباتات الراقية أو أجزائها. يوجد هذا المنحنى فى حالة طحلب اليوجلينا حيث تنقسم الخلية إلى خليتين وتكبر الخلية فى الحجم وهكذا يتكرر إنقسام الخلية. تقل سرعة النمو نتيجة لقلة الموارد الغذائية أو نتيجة لتكون مركبات سامة فى البيئة أو كلاهما. يعتبر طحلب اليوجلينا من الطحالب وحيدة الخلية أو من الحيوانات الأولية وحيدة الخلية (شكل ١٤). وأيضاً حالة شعرة القطن حيث أن منحنى نمو الشعرة يكون sigmoid. شعرة القطن تتكون من إمتداد لخلية بشرة بذرة القطن ولذلك فإن الشعرة تتكون من خلية واحدة ، وعند نزع الشعرة فى بداية تكوينها مـن بذرة القطن وتنميتها على بيئة صناعية فى المعمل *in vitro* فإنها تنمو على البيئة حتى تصل تمام نموها وطولها . وفى أثناء هذه المراحل يتم تقدير الوزن الجاف وينتج عن ذلك منحنى sigmoid (شكل ١٤)،. وفى حالة أخرى أى حالة ثالثة تم تقدير الوزن الجاف أثناء مراحل النمو المختلفة للسيقان المتحورة والمسماه pads لنبات شبيه بالتين الشوكى *Opuntia basilaris* فى الربيع. وجد أن نوعين من pads هما A , B يوجدان على نفس النبات لهما منحنى sigmoid ولكن فى حالة الساق B فإن مرحلة الركود lag phase أى الفترة التى تكون فيها سرعة النمو منخفضة تكون حوالى عشرون يوماً وهى أطول منها فى حالة الساق A . تلى مرحلة lag phase فترة النمو الكبير Grand period of growth أى مرحلة يكون فيها سرعة النمو كبيرة. ولكن فى حالة الساق padc فإنها لا تنمو بدرجة كبيرة إلا فى الصيف ونموها فى الربيع يكون محدود وهى توجد على نفس النبات وأيضاً أنها تظهر حالة منحنى sigmoid (شكل ١٤).

ومن هذه الأمثلة يتضح أن منحنى sigmoid يبدأ بمرحلة lag phase أى مرحلة الركود أو بطء النمو ثم يلى ذلك مرحلة log phase أى مرحلة النمو اللوغاريتمى أى مرحلة Grand period أى مرحلة النمو السريع. تتكون هذه المرحلة من ثلاثة مراحل وهى مرحلة النمو ذو السرعة المتزايدة acceleration phase ومرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponetial phase ومرحلة النمو ذو السرعة المتناقص deceleration phase.



(شكل ١٤) : منحنى النمو للطحالب ذات الخلية الواحدة

I مرحلة الركود lag phase

II مرحلة النمو والسرعة المتزايدة acceleration phase

III مرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase

Iv مرحلة النمو ذو السرعة المتناقصة deceleration phase

(II – Iv: مرحلة النمو السريع أو النمو اللوغاريتمى)

v مرحلة النمو الثابت stationary phase

vI مرحلة الشيخوخة أو الموت decline phase

ثم ينتهى بمرحلة ثالثة هى مرحلة الثبات stationary phase حيث يوجد توازن بين عدد من الخلايا المنقسمة وعدد الخلايا الميتة. وفى بعض الأحيان توجد مرحلة رابعة هى مرحلة التناقص أو الموت أو الشيخوخة decline or death or senescence حيث يختل التوازن ويزداد عدد الخلايا الميتة عن عدد الخلايا المنقسمة . يلاحظ مما سبق أيضاً أنه يوجد منحنى نمو sigmoid لجميع أنواع السيقان على النبات الواحد ولكنها تختلف فى درجة تماثل المنحنى حيث أن عدم التماثل يكون أساساً فى الجزء الوسطى من المنحنى حول منطقة إنحناء الخط المستقيم من المنحنى أى عند إنحناء الخط المستقيم . ومن هذه الحالة الأخيرة يمكن أن نستنتج أستنتاج عام هو أن أجزاء النبات الواحد تنمو بسرعات مختلفة حيث أن السيقان تنمو بسرعات مختلفة عن الجذور وكلاهما ينمو بسرعات مختلفة عن الأوراق وذلك فى النبات الواحد. وأيضاً فإن الأوراق المختلفة على النبات الواحد تنمو بسرعات مختلفة كما هو الحال فى سيقان نبات *Opuntia*.

الصعوبات فى تقدير نمو النبات الكامل:

يعتبر تقدير نمو النبات الكامل صعب إلى حد كبير. حيث لابد من قياس سرعة النمو للأجزاء فوق سطح التربة أى المجموع الخضرى وللأجزاء الأخرى تحت سطح التربة أى المجموع الجذرى. كما أن سرعة نمو الجذور تختلف عن سرعة نمو السيقان وأحياناً يكون النمو فى فترتين مختلفتين، وعادة يكون نمو وتكوين الجذور سابق لنمو السيقان والأوراق. وعادة يكون النمو متقطع intermittent فى الجذور والسيقان للنباتات الخشبية المعمرة فى المناطق المعتدلة من الكرة الأرضية. يوجد فى بعض الأشجار فترة نمو واحدة فى الربيع بعد فترة السكون فى الشتاء مثل البلوط و ashes والأسفندان وبعض المخروطيات ذات المناطق المعتدلة، وفى بعض الأشجار توجد فترات نمو متقطع أثناء موسم النمو فى الربيع وأوائل الصيف عادة مثل العديد من المخروطيات. ونظام النمو المتقطع شائع الوجود فى المناطق الإستوائية وتحت الإستوائية. كما أن النمو يختلف على مدار اليوم الواحد diurnal growth حيث يزداد أثناء الليل وحيث درجة الحرارة ملائمة وحيث الإتزان فى العلاقات المائية للنبات وبالتالى تقل سرعة النمو فى النهار . يمكن أيضاً أن يكون نمو الجذور فى نظام متقطع. كما أن القمم النامية للجذور قد تنمو فى أزمنة مختلفة وليست فى نفس الفترة فى النبات الواحد. وجد أيضاً أن الجذور فى المناطق المعتدلة يمكن أن تنمو وحتى فى الشتاء وحيث أن نمو المجموع الخضرى متوقف تماماً أى أنه فى هذه المناطق المعتدلة يمكن أن يتوقف نمو المجموع الخضرى فى الشتاء ولكن يستمر نمو الجذور. ولذلك فإن التقدير الفعلى لسرعة نمو النبات يكون من الصعوبة بمكان ولذلك يستعاض عن ذلك بمعادلات خاصة تقديرية لسرعة النمو حيث يكون من الصعوبة أو المستحيل القياس المباشر لسرعة نمو أجزاء النبات المختلفة. ومن المعادلات المناسبة والفعالة فى قياس سرعة نمو النبات هى NAR و LWR و RGR والسابق ذكرها.

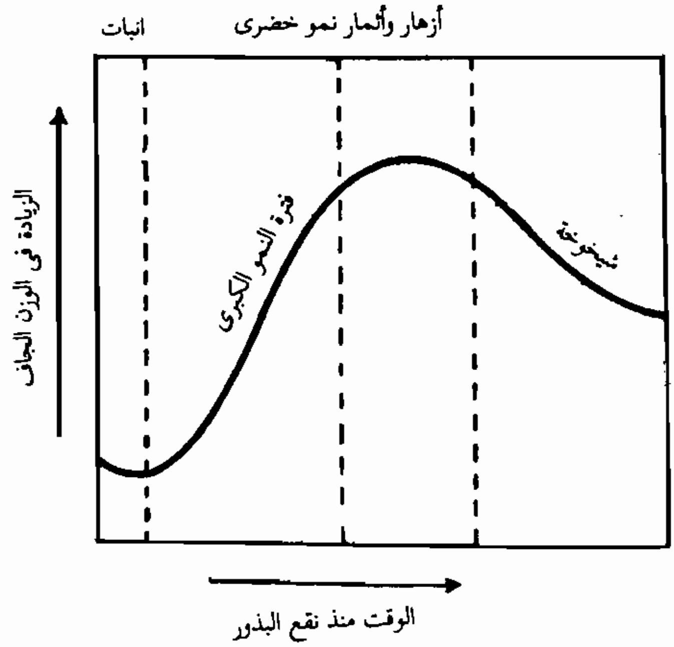
وعند تقدير النمو بالوزن الجاف للمجموع الخضرى أو أجزائه فيجب التنويه أن هذا الوزن هو الظاهرى حيث أن جزء من المركبات المتكونة قد فقد نتيجة للتنفس وجزء آخر قد فقد نتيجة لإنتقاله إلى المجموع الجذرى.

تقدير منحنى النمو أثناء أطوار نمو النبات:

عند تقدير النمو أثناء مراحل نمو النبات المختلفة وذلك بتقدير الوزن الجاف ورسم ذلك فى صورة منحنى فإن المنحنى الناتج يكون فى صورة حرف S. ويسمى منحنى S للنمو أو منحنى سيجما للنمو S - or Sigmoid growth curve (شكل ١٥). ويختلف هذا المنحنى قليلاً عن منحنيات نمو أعضاء النبات حيث أنه فى هذه الحالة أثناء مرحلة الإنبات يقل الوزن الجاف للنبات وهذه الحالة لا تحدث فى حالة تقدير النمو لأعضاء النبات المختلفة. ثم يصبح المنحنى بعد ذلك مماثل لمنحنيات نمو أعضاء النبات.

حيث تزداد سرعة النمو بدرجة كبيرة وبسرعة ثابتة تقريباً أثناء مرحلة النمو الخضرى ثم تقل سرعة النمو أثناء مرحلة الإزهار والإثمار وقد يقل الوزن الجاف أثناء مرحلة الشيخوخة. جميع النباتات التى تزرع بالبذرة تأخذ شكل هذا المنحنى ولكن يختلف مستوى مسار هذه المنحنيات تبعاً لنوع النبات. تسمى مرحلة النمو الخضرى بفترة النمو الكبرى Grand period of growth. تختلف فترة مرحلة النمو الخضرى باختلاف نوع النبات فقد تستمر عدة أسابيع فى بعض النباتات الحولية كالذرة والشعير وقد تمتد إلى عدة أشهر فى نباتات أخرى كالقطن والبرتقال.

وقد لوحظ أن إزالة الأزهار والثمار حديثة التكوين يساعد على استمرار النمو الخضرى فى نباتات كثيرة. ففى نبات الطماطم مثلاً تقل سرعة النمو الخضرى بعد تكوين الثمار، أما إذا أزيلت هذه الثمار تباعاً عند حداثة تكوينها، فإن النبات ينمو خضرياً لفترة أطول. ومن المعروف عملياً بين منتجى الإزهار أن قطف أزهار البسلة مثلا قبل أن تتم عملية التلقيح به وقبل أن يبدأ تكوين الثمار، يؤدى إلى انتعاش النمو الخضرى وامتداد فترة الإزهار. وفى الأشجار المعمرة كالبرتقال والتفاح والزيتون، تقل سرعة النمو الخضرى فى فصل الشتاء البارد، وتزداد فى الفصول الأخرى الأكثر دفئاً وتبدو هذه الظاهرة أكثر وضوحاً فى النباتات متساقطة الأوراق مثل التفاح والكمثرى والمشمش والكريز، حيث تتساقط أوراقها فى الخريف، وتمضى البراعم فترة من السكون تمتد خلال الشتاء، ثم تنشط مرة أخرى فى الربيع.



(**شكل ١٥**) : التغير العام فى الوزن الجاف للنبات أثناء مراحل النمو المختلفة

تفسير شكل منحنى النمو فى الطحالب وحيدة الخلية والبكتريا:

يلاحظ من المنحنى فى البكتريا والخميرة والطحالب ذات الخلية الواحدة أنها تتوقف عن الإنقسام لفترة عقب تلقيح البيئة الغذائية. وبعد إنتهاء هذه الفترة تبدأ الخلايا فى الإنقسام ولكن ببطء ملحوظ ثم يسرع معدل الإنقسام حتى يصل إلى درجة يثبت عليها سرعة الإنقسام.

وتعرف الفترة التى يتوقف فيها الإنقسام باسم طور الركود lag phase وفى هذه الفترة تحدث عدة تغيرات كيماوية داخل الخلية بالرغم من توقف الخلية عن الإنقسام. والفترة من دورة النمو التى تنقسم فيها الخلايا بسرعة واضحة والتى يثبت فيها الوقت الجيلى تعرف بطور النمو اللوغاريتمى logarithmic or exponential phase growth ويرمز له عادة بالرمز (log phase) .

ويميل بعض الباحثين إلى اعتبار المرحلة الأولى من الطور اللوغاريتمى والتى يظهر بها زيادة متدرجة فى تعداد الخلايا طوراً منفصلاً يعرف بطور النمو المتزايد accelerat- ed growth phase، والسبب فى تدرج النمو فى هذه الفترة أن الخلايا جميعاً لا تكمل فترة ركودها فى وقت واحد وينتهى هذا الطور القصير بانتظام معدل النمو وبثبات الوقت الجيلى ودخول الخلايا فى الطور اللوغاريتمى.

وينتهى الطور اللوغاريتمى عندما يبطىء معدل التكاثر وتزداد فترة الوقت الجيلى ويثبت تعداد الخلايا الحية بالمزرعة، عندئذ يقال أن المزرعة قد دخلت فى طورها الثابت من النمو stationary phase وفى خلال هذه الفترة يكون هناك توازن بين عدد الخلايا المنقسمة وعدد الخلايا الميتة.

وقد يختل هذا التوازن حيث يزداد تعداد الخلايا الميتة عن تعداد الخلايا المنقسمة، أو بمعنى آخر لا يكون هناك تعويض لمعدل الموت بتكوين خلايا جديدة، ويعرف هذا الطور من النمو بطور الموت أو تناقص النمو decline or death phase.

يمكن عمل تحديد أكبر للمنحنى حيث يتم تحديد ستة مراحل وهى مرحلة أو طور الركود lag phase هى الفترة بعد حدوث التلقيح وقبل إنقسام الخلايا ومرحلة النمو ذو السرعة المتزايدة acceleration phase حيث تبدأ الخلايا فى الإنقسام ومرحلة النمو ذو السرعة الثابتة exponential phase حيث تنقسم الخلايا بسرعة ثابتة وفى هذه المرحلة يزيد عدد الخلايا كثيراً ومرحلة النمو ذو السرعة المتناقصة deceleration phase حيث تقل سرعة إنقسام الخلايا ومرحلة النمو الثابت stationary phase حيث يصبح عدد الخلايا ثابت حيث أن سرعة الأنقسام تكون مساوية لسرعة موت الخلايا ومرحلة الشيخوخة أو الموت أو تناقص النمو decline phase حيث تكون سرعة موت الخلايا أعلى من سرعة أنقسام الخلايا (شكل ١٤).

وفيما يلى وصف تفصيلى لما يحدث فى أطوار النمو المختلفة:

أولا ــ طور الركود Lag phase:

إن عدم حدوث الإنقسام فى هذه الفترة لا يجب أن يفهم منه توقف الخلايا عن النمو الفردى كلية . فإن الركود الملحوظ هو ركود فى حدوث عملية الإنقسام فقط، ولكنه ليس ركودا فى عمليات التخليق الحيوى بداخل الخلية .

ومن الدراسات السيتولوجية التى أجريت على الخلايا فى هذا الطور تبين أنها قد تزداد فى الحجم لتصل إلى ضعف أو ثلاثة أضعاف حجمها الأصلى يلاحظ أن الزيادة فى الحجم تكون بدرجة أكبر فى البكتريا العصوية عنها فى الكروية. وقد بينت الدراسات البيوكيمائية زيادة معدل النشاط الأيضى للخلية خلال فترة الركود. كما بينت أيضاً زيادة كمية المكونات الأساسية للأحماض النووية purines & pyrimi-dines والمحتويات البروتينية بالخلية، إلا أن زيادة نسبة البروتين تكون أقل نسبياً من الزيادة فى الأحماض النووية.

والدراسات الكيماوية أظهرت أن هناك زيادة فى محتويات الخلية من RNA خلال فترة الركود، وهو من المكونات الأساسية للسيتوبلازم كما أن محتويات الخلية من DNA المميز للمحتويات النووية لا تتأثر نسبته بالخلية خلال هذه الفترة. وقد لوحظ أن محتويات الخلية البكتيرية من RNA عندما تدخل فى الطور اللوغاريتمى تكون متناسبة تناسباً عكسياً مع طول الوقت الجيلى فى حين أن محتويات الخلية من DNA لا تتأثر بطول أو قصر الوقت الجيلى. وقد أظهرت الدراسات البيوكيمائية الأخرى زيادة فى معدل تنفس الخلية البكتيرية خلال فترة الركود وفترة النمو المتزايد عنها فى الأطوار التالية من النمو ويرجع ذلك إلى الزيادة فى حجم البروتوبلازم الموجود بالخلية حينئذ.

والبكتريا والطحالب تكون أكثر حساسية للتغيرات الحرارية وهى فى طور ركودها فعندما تكون درجة الحرارة قريبة من الدرجة المثالية للنمو يمكن تقصير فترة الركود كما أن الزيادة أو النقص فى درجة الحرارة عن الدرجة المثالية يطيل من فترة هذا الطور. والخلايا أثناء طور الركود وكذلك أثناء طورها اللوغاريتمى من النمو تكون

أكثر حساسية للحرارة المنخفضة حيث أنها تقتل بسرعة عقب تعريضها المفاجىء للحرارة المنخفضة بدرجة أكبر من تلك التى تكون قد وصلت طورها الثابت من النمو. هذا والخلايا البكتيرية والطحالب النشطة تكون أكثر حساسية من غيرها للمواد الكيماوية السامة.

ثانيا ـ طور النمو اللوغاريتمى Log phase :

سبق أن ذكرنا أن الوقت الجيلى يكون ثابتا خلال الطور اللوغاريتمى من النمو، وأن طـول الـوقت الجيلى للنـوع البكتيـرى أو الطحلبى يتحدد عـادة نتيجة لتفاعـل العوامـل الوراثية والظـروف البيئية السائدة. فمثلاً وجـد أن الوقت الجيلى للبكتريا *E. coli* هو عشرون دقيقة فى الظروف البيئية المناسـبة لنمو خلاياها فى حين أن البكتريا التابعة لجنس *Mycobacterium* يصل وقتها الجيلى إلى عدة ساعات فى الظروف المناسبة.

ويعزى إختلاف طول فترة الوقت الجيلى للبكتريات المختلفة إلى تفاوت قدراتها التخليقية للبروتوبلازم وإلى معدل أو سرعة الإنقسام حيث لوحظ أن الزيادة فى محتويات الخلايا من النيتروجين تكون متلازمة مع الزيادة فى عدد الخلايا خلال الطور اللوغاريتمى. وقد لوحظ أن درجة الحرارة أثناء فترة الحضانة تؤثر إلى حد كبير على معدل النمو أثناء هذا الطور وحيث أن عمليات النمو تعتبر عمليات كيماوية فإننا نتوقع إذن مضاعفة النمو كلما إرتفعت درجة حرارة الكائن بمقدار عشر درجات مئوية. وقد وجد أن هذا صحيح فى حدود معينة من الحرارة تتراوح بين ٢٠° ـ ٤٠° م. ففى حدود هذا المجال نجد أن البروتين البكتيرى يتأثر قليلاً أو بدرجة غير ملحوظة ولكن وإذا ارتفعت درجة الحرارة عن ٤٠° م فإنه يحدث تثبيط حرارى للبروتين الإنزيمى بالخلية الدقيقة مما يقلل معدل النمو. تختلف درجة الحرارة المثلى بإختلاف نوع البكتريا والطحلب فتكون لمعظم البكتريات الميزوفيلية بين درجة ٣٧° ـ ٤٢°م. هذا ويمكن الحصول على محصول وافر من خلايا الكائن إذا احتفظ بالمزارع على درجة من الحرارة أقل بعدة درجات من درجة حرارتها المثالية

للنمو حيث يمكن بذلك تقليل التأثير الضار للحرارة على البروتين الأنزيمى لهذه الخلايا . والبكتيريا والطحالب المحبة للحرارة المرتفعة thermophilic ومثال ذلك الطحالب التى تعيش فى الينابيع الحاره تتراوح درجة حرارتها المثالية للنمو بين ٥٥° ـ ٦٠°م وعلاوة على ما تقدم فإن مكونات البيئة الغذائية يمكنها أيضا أن تتحكم فى طول فترة الوقت الجيلى. وإذا لم تتمكن الخلايا البكتيرية من تجهيز مادة غذائية معينة فيشترط إذن إضافتها إلى البيئة وتعرف هذه المواد المضافة بالمواد الغذائية الضرورية essential nutrients وبعض المواد يمكن للخلايا تجهيزها بسرعة والبعض الآخر يجهز ببطء، كما أن من المواد مالا يمكن للخلايا تجهيزها على الإطلاق، من هنا يمكننا أن نتفهم مدى تأثير إضافة أو غياب مثل هذه المواد على طول فترة الوقت الجيلى. وهناك بعض المواد تعتبر منشطة للنمو فقط بمعنى أنها ليست من المواد الضرورية لكن وجودها بالبيئة يؤدى إلى تقصير فترة الوقت الجيلى. ومجرد وجود المواد الغذائية بالبيئة لا يؤثر على معدل النمو وطول الوقت الجيلى فقط، بل أن تركيزات هذه المواد بالبيئة لها أيضا تأثير واضح على النمو ومعدلاته. لذلك يمكن إطالة فترة الوقت الجيلى فى مزرعة بكتيرية بتغيير بيئتها الغذائية أو بتقليل تركيز أحد مكوناتها.

إذا كان تركيز مكونات البيئة الغذائية محدودا فإن المحصول الكلى لنمو الكائن يكون متلازما مع هذا التركيز فالمزرعة تنمو فترة من الزمن ثم تتوقف عن الإنقسام نظرا لإستهلاك بعض أو كل محتويات البيئة من الغذاء ، أما إذا أضيف المزيد من المواد الغذائية إلى هذه المزرعة فإنها تستعيد نشاطها ويبدأ الإنقسام الخلوى من جديد . ولكن عند الوصول إلى حد معين يتوقف النمو كلية حتى ولو توافرت المواد الغذائية بالبيئة إذ أن النمو لا يمكنه أن يستمر إلى مالا نهاية .

ثالثا ـ الطور الثابت Stationary phase :

هناك عدة أسباب تفسر توقف المزرعة البكتيرية عن النمو وأيضا خلايا الطحالب عندما تصل إلى حد معين، منها نفاذ المواد الغذائية من البيئة، وزيادة تركيز المواد الأيضية الناتجة عن النشاط الخلوى حيث أن هذه المواد قد تؤدى إلى خفض درجة

pH البيئة إلى حد يمنع التكاثر أو تكون هذه المواد ذاتها سامة للخلايا النشطة. وتهوية المزرعة تعمل على أكسدة الأحماض العضوية أو المواد السامة وعدم تكدسها، الأمر الذى يطيل من فترة الطور اللوغاريتمى أو يؤجل حلول الطور الثابت من النمو. وحتى تحت الظروف القياسية من التهوية والتغذية فإن معدل التكاثر يبدأ فى التناقص حتى يتوازن مع معدل موت الخلايا. ويتوقف طول فترة هذا الطور على درجة حساسية خلايا الكائن للظروف السائدة بالبيئة حيث يظل عدد الخلايا الحية المنقسمة ثابتا بها، فكلما زادت حساسية الخلايا وكلما كانت الظروف غير ملائمة كلما قصرت فترة الطور الثابت من النمو.

رابعا ـ طور تناقص النمو أو طور الموت The phase of decline or death :

يعقب الطور الثابت حين يبدو أن معدل موت خلايا الكائن يزيد عن معدل التكاثر وتكوين خلايا جديدة. ويرجع ذلك إلى عدة أسباب تختلف بإختلاف النوع البكتيرى والطحلبى. والتحول المفاجئ من الطور الثابت إلى هذا الطور يتضمن معدلا لوغاريتميا لموت الخلايا وهو عكس المعدل اللوغاريتمى. وقد يستمر ثبات معدل الموت لعدة أيام أو تموت كل الخلايا خلال هذه الفترة تبعا لنوع الكائن. فبينما نجد أن كل الخلايا لبعض الأنواع الكروية السالبة لصبغة جرام تموت خلال فترة ٧٢ ساعة أو أقل نجد أن بعض الخلايا فى مزارع البكتيريات الأخرى حية لفترة تتراوح بين شهرين إلى عدة سنوات.

طرق قياس النمو

يتم قياس النمو فى النبات بطرق عديدة ومنها ما يلائم الطحالب وحيدة الخلايا والبكتريا ومنها ما يلائم النباتات الزهرية وهى كما يأتى :

١ ـ تركيز العكاره Turbidity :

يجرى تقدير درجة عكارة المحلول بالنظر وبطريقة أدق بإستعمال جهاز قياس الألوان spectrophotometer حيث أنه كلما زاد النمو كلما زاد تركيز العكاره.

تستعمل هذه الطريقة فى قياس النمو فى البكتيريا والخميرة. ويمكن أن تستعمل فى بعض الطحالب وحيدة الخلية.

٢ ـ عد الخلايا:

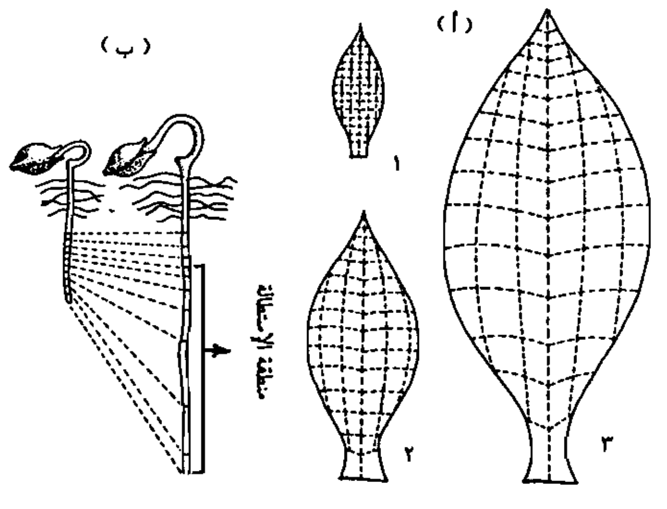
يتم أخذ قطرة من المعلق النامى فيه الطحلب أو الخميرة أو البكتريا وذلك بواسطة ماصة مدرجة وبذلك يمكن معرفة حجم النقطة ثم يتم فرد هذه النقطة فى مساحة معينة على شريحة زجاجية ولتكن المساحة واحد سم مربع. يتم عد الخلايا الموجودة فى مساحة الحقل الميكروسكوبى لمرات عديدة ثم حساب المتوسط. يتم حساب عدد الخلايا الموجودة فى مساحة اسم مربع وفى حجم القطرة كلما زاد عدد الخلايا فى القطرة كلما كان ذلك دليل على سرعة النمو. تستعمل هذه الطريقة فى قياس النمو للطحالب وحيدة الخلية وفى الخميرة والبكتيريا وجراثيم الفطريات . يمكن إستخدام هيموسيتومتر فى عد الخلايا. تستخدم هذه الطريقة فى قياس عدد الخلايا فى النباتات الزهرية فى مزارع الخلية الواحدة والبروتوبلاست.

٣ ـ الزيادة فى الطول

يمكن قياس الزيادة فى الطول بطرق عديدة وأيضا بأجهزة عديدة ومنها ما يأتى:

أ ـ قياس الطول بالعين المجردة أو المسطرة:

تستعمل فى حالة قياس نمو الساق والجذر وذلك لفترات طويلة حيث يصبح النمو كاف للقياس. تستعمل هذه الطريقة أيضا فى قياس منطقة الاستطالة فى البادرة حيث يتم عمل خطوط عرضية على الجذير بحبر شينى، المسافة بينها واحد ملليمتر ثم تترك البادرة فى بيئة رطبة مشبعة بالماء لمدة يوم تقريبا ثم يتم قياس المسافة التى حدث فيها إبتعاد الخطوط عن بعضها وبالتالى يمكن تحديد منطقة الاستطالة على الجذر وأيضا يمكن تقدير سرعة النمو من الأجزاء التى تباعدت فيها الخطوط العرضية (شكل ١٦ ب).



(شكل ١٦) : طرز النمو

أ ـ مراحل نمو ورقة التبغ (١، ٢، ٣)

ب ـ مراحل نمو بادرة القرع

(توجد علامات بالحبر الشينى على الجذير وأيضا مربعات على الأوراق)

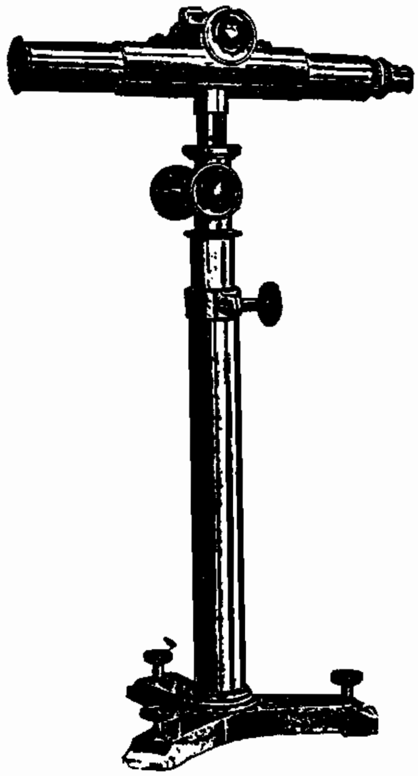
ب ـ استعمال المجهر الأفقى Horizontal microscope :

توضع نقطة بالحبر الشينى ملاصقة لقمة الساق ويتم ضبط المجهر على هذه النقطة نتيجة للنمو ترتفع النقطة إلى أعلى وتصبح خارج الحقل الميكروسكوبى فيتم رفع أنبوبة الميكروسكوب لمشاهدة هذه النقطة. يمكن تحديد هذه المسافة التى تم تغييرهما فى أنبوبة المجهر وذلك بقراءتها على مقياس على الميكروسكوب. أى يمكن تقدير مسافة النمو بواسطة مقياس على المجهر. يمكن حساب السرعة فى هذه الحالة بأخذ الزمن فى الأعتبار (شكل ١٧).

جـ ـ استعمال الأوكسانومتر Auxanometer :

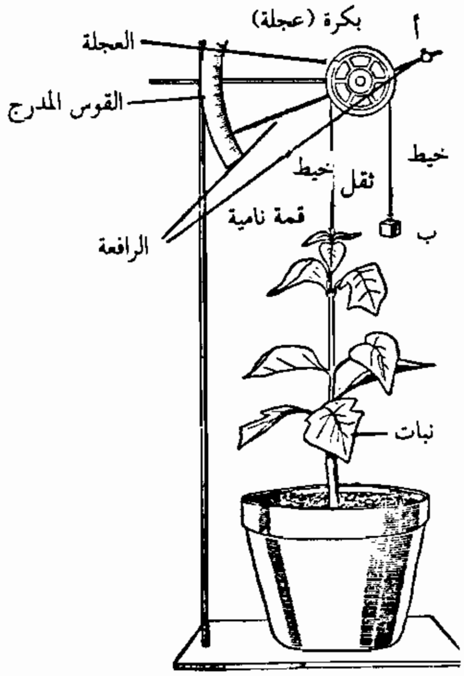
توجد أنواع كثيرة من الأوكسانومتر ومنها الأوكسانومتر البسيط أى الأوكسانومتر القوسى arc auxanometer والأوكسانومتر الأتوماتيكى لففر Pfeffer automatic auxanometer والأوكسانومتر الميكرومترى micrometer screw auxanometer

والأوكسانومتر المسجل self-registering auxanometer وفيما يلى وصف الأوكسانومتر البسيط والأوكسانومتر المسجل.



(شكل ١٧) : المجهر الأفقي

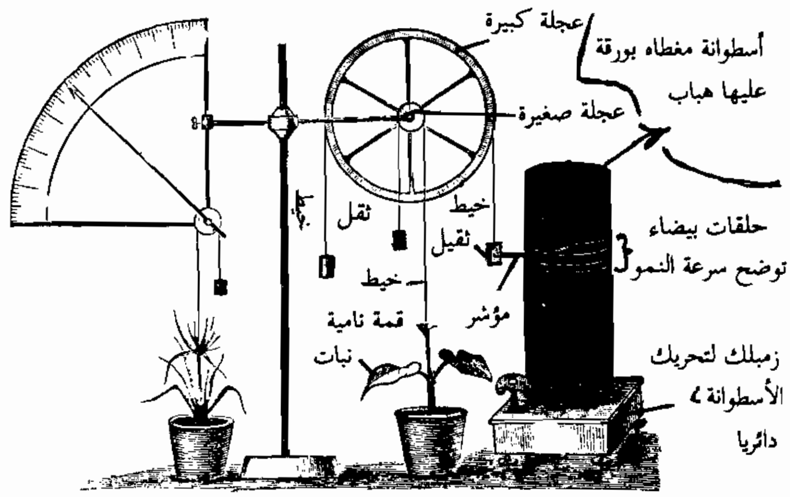
توجد أنواع مختلفة من الأوكسانومتر البسيط وهى تتكون من رافعة من النوع الأول ليست متساوية الذراعين، ويحمل ذراع الرافعة القصير ثقلا (شكل ١٨) يمكن تحريكه يمينا أو يسارا بين طرف الذراع ونقطة ارتكاز الرافعة، وتثبيت الرافعة عند نقطة ارتكازها تثبيتا محكما فى مركز عجلة ذات قطر مناسب، وتثبيت العجلة على قائم رأسى يحمل قوسا مدرجا بحيث يمكن أن تدور العجلة ومعها الرافعة دون أن يعوقهما عائق، وبحيث يشير ذراع الرافعة الطويل إلى درجات القوس.



(شكل ١٨) : الأوكسانومتر البسيط

فعندما يراد قياس معدل نمو أى عضو نباتى وليكن قمة ساق نامية، تربط هذه القمة النامية بخيط مناسب يوضع حول العجلة بحيث يتدلى طرفه الآخر فى الناحية المقابلة حاملا ثقلا صغيرا (شكل ١٨)، ويلاحظ قبل وضع الخيط حول العجلة أن تدار العجلة قليلا بحيث تستوى الرافعة فى موضع أفقى، ثم يحرك الثقل على الذراع القصير يمينا أو يسارا حتى يكاد يتزن الذراعان، وإلا تسبب عن تفاوت الذراعين فى الوزن تفاوتا كبيرا، دوران العجلة من تلقاء نفسها، وبعد ذلك تدار العجلة بحيث يؤشر طرف الذراع الطويل إلى أسفل القوس، ثم يوضع الخيط فى موضعه كما تقدم شرحه، وبذلك تكون أى حركة للعجلة لابد أن تعزى إلى حركة القمة النامية، فإذا استطالت هذه القمة، دارت العجلة فى اتجاه عقرب الساعة بفعل الثقل الصغير الذى يتدلى من الخيط، وتحرك تبعا لذلك الذراع الطويل للرافعة على القوس المدرج إلى أعلى، فيكون عدد الدرجات التى سجلها الذراع أثناء حركته فى وحدة زمنية هو معدل نمو القمة.

يتكون الأوكسانومتر المسجل (شكل ١٩) من عجلة ذات قطر كبير وفى مركزها عجلة أخرى ذات قطر قصير ويوجد ثقل متدلى من العجلة الكبيرة وآخر متدلى من العجلة الصغيرة. يتم ربط قمة النبات بخيط يمر على العجلة الصغيرة ويتدلى منه من الناحية الأخرى ثقل. فعند أى نمو للنبات يسبب تدلى الثقل ودوران العجلة الصغيرة وبالتالى العجلة الكبيرة ويتحرك الثقل المتصل بالعجلة الكبيرة إلى أسفل ويسبب ذلك تسجيل هذه الحركة بواسطة المؤشر المتصل بالعجلة الكبيرة على الورقة السوداء نتيجة دهانها بالهباب ينتج عن ذلك تسجيل دوائر على الورقة السوداء وكلما زادت سرعة النمو للنبات كلما زادت المسافة بين هذه الحلقات والعكس صحيح ومن ذلك يمكن تقدير سرعة النمو. ويلاحظ أن الأسطوانة تدور حركة دائرية بسرعة ثابتة وذلك بواسطة جزء يشبه أو يماثل آلة (زمبلك) ساعة الحائط.

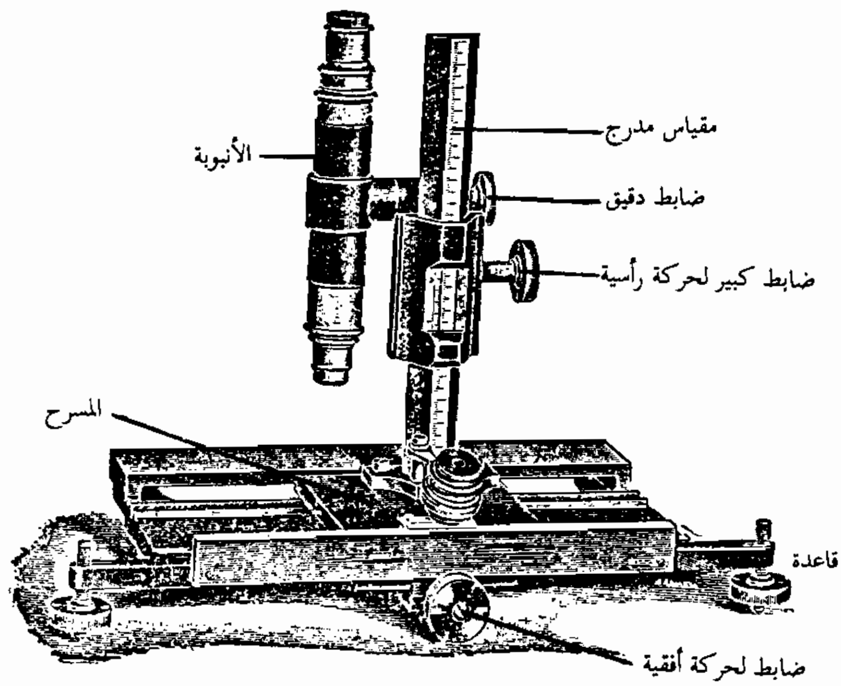


(**شكل ١٩**) : اليمين أوكسانومتر مسجل واليسار أوكسانومتر بسيط.

د ـ المجهر المتنقل:

يلاحظ أنه قلما ينمو أى عضو نباتى فى خط مستقيم تمام الإستقامة، وذلك لما يعترض العضو النامى من عقبات طبيعية فى بيئته. ولقياس النمو فى هذه الحالة، يستخدم مجهر يعرف بالمجهر المتنقل (شكل ٢٠)، وهو جهاز قد صمم لهذا

الغرض، إذ يتركب من أنبوبة مجهر عادى مثبتة فى حامل رأسى مدرج بحيث تتعامد الأنبوبة مع الحامل، وبحيث يمكن تحريك الأنبوبة إلى أعلى أو إلى أسفل، ويثبت الحامل الرأسى بدوره على قاعدة مدرجة بحيث يمكن إزاحته إلى اليمين أو إلى اليسار حسبما كان الحال، وبذلك يمكن أن يقال إن أنبوبة المجهر المتنقل تتحرك على محورين أحدهما رأسى والآخر أفقى.



(**شكل ٢٠**) : المجهر المتنقل

فإذا حاولنا رؤية طرف جذر نام خلف جدار زجاجى مثلا، خلال أنبوبة المجهر المتنقل، ثم سجلنا موضع الأنبوبة على المحورين الرأسى والأفقى وانتظرنا مدة كافية، ثم حاولنا بعدها رؤية طرف الجذر مرة ثانية خلال أنبوبة المجهر، استحال علينا رؤيته مالم تحرك أنبوبة المجهر رأسيا وأفقيا، عند ذلك نسجل موضع الأنبوبة الثانى على المحورين الرأسى والأفقى، ومن هذين التسجيلين يمكننا استنباط حركة الطرف النامى للجذور فى الاتجاهين الرأسى والأفقى، وتدل محصلة الحركة فى هذين الاتجاهين على مقدار النمو، ويدل اتجاه المحصلة على اتجاه الجذر أثناء نموه.

٤ ـ الزيادة فى المساحة:

تستعمل هذه الحالة بكثرة فى الأوراق حيث يتم تقدير الزيادة فى المساحة فى زمن معين ليكون ذلك دليل على سرعة نمو الورقة (شكل ١٦ أ) يمكن تقدير المساحة بواسطة ورق مربعات أو بواسطة جهاز بلانيميتر planimeter. توجد أجهزة حديثة تقيس مساحة الورقة مباشرة وتعمل بالكهرباء وتعتبر هذه الأجهزة عملية لأنها دقيقة وسريعة.

٥ ـ الزيادة فى القطر أو المحيط:

تستخدم عادة فى قياس زيادة سمك الساق والجذر ويكون بقياس طول خيط يلتف حول المحيط.

٦ ـ الزيادة فى الحجم:

تستخدم عادة فى قياس حجم الثمار والدرنات والأبصال والكورمات يمكن تقدير الحجم بطريقة بسيطة وذلك بغمر الثمرة فى كأس مدرج به ماء وحساب كمية الماء المزاح ويكون ذلك مقياس للحجم.

٧ ـ الوزن الرطب **Fresh weight:**

تقدير الوزن الرطب للعضو النباتى أو للنبات على فترات مختلفة ويمكن بذلك حساب سرعة النمو.

٨ ـ الوزن الجاف **Dry weight:**

تقدير الوزن الجاف للعضو النباتى أو للنبات وذلك بالتجفيف فى الفرن على درجات حرارة مرتفعة نسبيا وعادة تكون أقل من مائة درجة قليلا. تعتبر هذه الطريقة هى أدق طريقة لتقدير النمو.

الباب الثاني

الحركة أثناء النمو

Growth Movements

بالرغم من أن النباتات الزهرية وعاريات البذور والسرخسيات أى النباتات الوعائية vascular plants غير قادرة على الحركة كما فى الحيوانات إلا أنها أثناء النمو تظهر أنواع وحالات مختلفة من الحركة تكون أغلبها عبارة عن تغيير إتجاه عضو النبات أو إتجاه أجزاء من النبات ويمكن تصنيف الحركة فى النبات إلى ثلاث مجاميع كبيرة وهى

١ ـ حركة نتيجة النمو Growth movements

٢ ـ حركة نتيجة إمتلاء أوإنتفاخ الخلايا Turgor movements

٣ ـ الحركة الهيجروسكوبية Hygroscopic movements

يمكن تصنيف الحركة فى النبات على أساس آخر وهى

١ ـ الحركة التأثيرية Paratonic movement

٢ ـ الحركة التلقائية Autonomic movement

يسمى العامل أو العامل البيئى الذى يؤثر على حركة النبات بالمؤثر stimulus وتسمى إستجابة النبات لهذا العامل بالإستجابة response وتكون الأستجابة عبارة عن حركة movement.

أولا : الحركة التأثيرية Paratonic Movement

وهى الحركة التى تتم نتيجة مؤثر محدد وعادة تكون حركة عضو أو جزء النبات في أتجاه هذا المؤثر أو عكسه ومنها نوعين رئيسين هما الحركه الحرة والحركه الأنتحائية أو تكون الحركه غير متأثره بأتجاه المؤثر ومنها نوع رئيسى هو nastic :

١ ـ الحركة الحرة Tactic movement

يحدث هذا النوع من الحركة فى النباتات الدنيئة أو الأولية مثل الطحالب وحيدة الخلية ويحدث أيضاً فى بعض الفطريات وفى النباتات الحزازية والسرخسية حيث تكون جاميطات متحركة تسبح فى الماء أو فى قطرات من الماء. وفى جميع الحالات السابقة فأن الوحدات المتحركة يكون لها أسواط ولابد من وجود الماء الحر فى صورة بحار أو أنهار أو قنوات أو فى صورة قطرات من مياه الرى أو الندى أو الأمطار. ولذلك يفضل تسمية ذلك بالجاميطات أو الجراثيم السابحة.

وفى الطحالب وحيدة الخلية المتحركة فإن الخلية العادية تكون سابحة أيضاً أى متحركة مثل كلاميدوموناس ويوجلينا. وتسبح هذه النباتات نحو مصدر الضوء الخافت، فإذا زادت شدة الضوء سبحت بعيداً عن مصدره. وتؤدى هذه الظاهرة إلى تغيير لون الماء فى البحيرات الساكنة حيث تعيش هذه النباتات الدنيا. ذلك أن هذه النباتات الخضراء الدقيقة تسبح وتتجمع قرب سطح ماء البحيرة فى الصباح الباكر عندما يكون ضوء الشمس خافتاً، وتكسب البحيرة لوناً أخضر. وكلما اشتد وهج الشمس غاصت هذه الكائنات الدقيقة فى الأعماق بعيدا عن الضوء، فيقل بذلك اخضرار لون الماء، ثم تعود فتسبح نحو السطح ثانية عندما يضعف الضوء بعد الظهر.

وفى حالة أتجاه خلية الطحالب إلى مصدر الضوء يسمى positive phototaxis وفى حالة إبتعادها عن مصدر الضوء تسمى negative phototaxis . وفى حالة بعض الطحالب البحرية مثل فيوكس فإن الجاميطات الذكرية السابحة فى الماء تتجه نحو الحوافظ الجنسية المؤنثة female conceptacles لكى تحدث عملية التزاوج ويعتقد فى أن الحوافظ المؤنثة تفرز مادة كيماوية تساعد فى حدث الجاميطات الذكرية فى إتجاه الحوافظ المؤنثة وتعتبر هذه الحالة هى positive chemotaxis .

وفى حالة الفطر *Allomyces* وجد أن الجاميطات الذكرية تتجه نحو عضو التأنيث سابحة فى الماء . وجد أن عضو التأنيث يفرز هورمون يسمى سيرينين sirenin يساعد على جذب الجاميطات المذكرة فى إتجاهه. وقد أمكن عزل هذا الهورمون والحصول عليه فى صورة نقية وأن يسبب جذب الجاميطات الذكرية فى تركيزات تتراوح بين $١٠^{-١٦}$ إلى $١٠^{-٦}$ جزيئى. تعتبر هذه الحالة هى positive chemotaxis .

وجد أن جذور بعض النباتات تفرز إفرازات تحتوى على مركب أو مركبات تسبب جذب الجراثيم المتحركة للفطريات إلى الجذور ويمكن أن تسبب هذه الجراثيم أمراض للنبات ومثال لذلك نبات الشليك حيث أن أفرازات الجذور تسبب جذب الجراثيم المتحركة للفطر *Phytophthora fragariae* المسبب لمرض الأسطوانة الوعائية الحمراء red stele فى الشليك. ينتشر هذا المرض فى محافظه الأسماعيلية.

وجد أن إمرار تيار كهربائى فى الماء يسبب جذب أو إبتعاد الوحدات المائية المتحركة خلايا أو جراثيم بالنسبة لمسار التيار الكهربائى ولذلك فى حالة جذب الوحدات تسمى positive galvanotaxis وفى حالة إبتعاد الوحدات الوحدات المتحركة عن مسار التيار الكهربائى تسمى negative galvanotaxis . يظهر هذا التأثير واضح فى أفراد عائلة الفولفكس volvocaceae وبعض البكتريا المتحركة.

يوجد نوع آخر من هذه الحركة وهو thermotaxis ومثال لهذه الحالة طحلب كلاميدوموناس. عند تنمية هذا الطحلب فى وعاء مستطيل طويل فى ماء بارد جدا ناتج من ذوبان الثلج ice cold water وتدفئة أحد أركان الوعاء فإن خلايا الطحلب تتجه ناحية الركن الدافئ أى أن الحركة تكون فى إتجاه الدفء أو درجة الحرارة المعتدلة وتسمى هذه الحالة Positive thermotaxis .

وفى بعض الحالات النادرة فى هذا النوع من الحركة يمكن أن يكون العضى أو الجزء المتحرك عديم الأسواط أو الأهداب وليس له قدرة على الحركة طبيعيا ولكنه فى ظروف معينة يظهر نوع من الحركة وتوجد هذه الحالة فى البلاستيدات الخضراء.

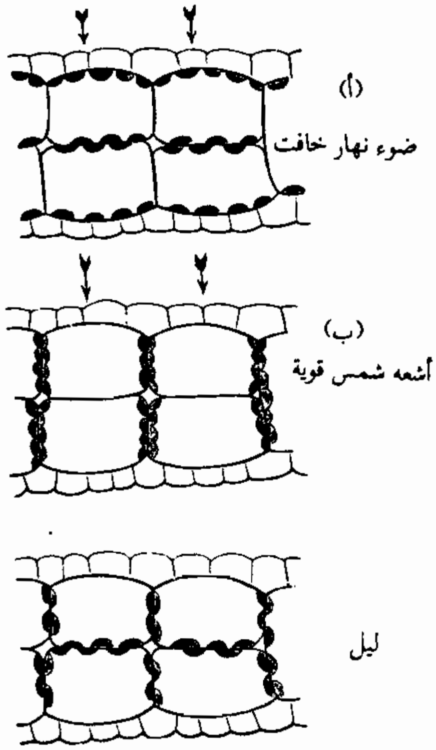
حيث أنه فى الضوء الشديد فإن البلاستيدات تتحرك فى الخلية بحيث تصبح موازية لأشعة الشمس وذلك لتعرض أقل مساحة منها لأشعة الشمس وبذلك تتلافى ضرر أشعة الشمس الزائدة وعلاوة على ذلك فإن هذه البلاستيدات تتحرك أيضاً فى إتجاه الجدر الجانبية للخلايا حيث تلامس هذه الجدر وتتجمع حولها ويسمى هذا النوع من ترتيب البلاستيدات الخضراء بالنسبة للخلية ولجدار الخلية apostrophe. يتميز هذا الترتيب بأنه يقى البلاستيدات الخضراء ضرر أشعة الشمس الشديدة وبالتالى يحافظ على حياة النبات وأيضا يحافظ على عملية البناء الضوئى فى النبات. والعكس صحيح فى حالة الضوء الضعيف أو المعتدل فإن البلاستيدات تتحرك مرة أخرى بحيث يكون سطحها العريض مواجه لأشعة الشمس وعمودى عليها وذلك لكى تستقبل أكبر قدر ممكن من أشعة الشمس. وعلاوة على ذلك فإن البلاستيدات تتحرك وتنتقل فى داخل الخلية من الجدر الجانبية إلى الجدر الأفقية لكى تلامسها وتتجمع حولها وهى بذلك أيضا تزيد بأقصى درجة ممكنة إستقبال الضوء اللازم لعملية البناء الضوئى وهى بذلك أيضاً تحافظ على عملية البناء الضوئى فى النبات وأن يكون ذلك أيضاً بسرعة مناسبة. يسمى هذا الترتيب للبلاستيدات الخضراء بالنسبة لجدر الخلايا epistrophe. وفى أثناء الليل تكون الحالة وسطيه (شكل ٢١).

جميع أنواع الحركة الحرة هى حركات ليس لها علاقة بالنمو وبالتالى لا تعتبر حركات نمو.

٢ ـ الحركة الأنتحائية Tropic Movement

وفيها يتحرك أحد أعضاء النبات بالنمو البطىء أو السريع نحو المؤثر الخارجى أو بعيدا عنه ، فإذا كان إتجاه النمو نحو المؤثر الخارجى سميت الحركة إنتحاء موجب وأذا كان بعيدا عنه سميت أنتحاء سالب. ومن أمثلة الأنتحاء ما يلى (جميع أنواع الأنتحاء حركات نمو):

أ ـ الانتحاء الأرضى Geotropism: ففى الظروف الطبيعية تنمو الجذور الابتدائية فى اتجاه تأثير الجاذبية الأرضية، وتنمو السيقان الأساسية فى اتجاه عكسى لذلك. فإذا حرك النبات عن وضعه الطبيعى، ووضع أفقياً مثلاً، تحركت قمة الساق إلى أعلى،



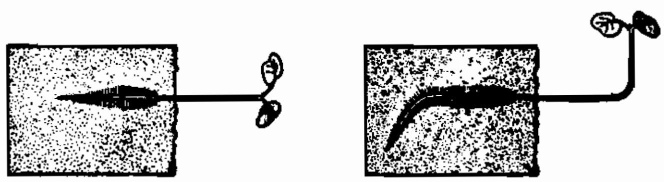
(شكل ٢١) : وضع البلاستيدات الخضراء داخل خلايا نبات عدس الماء فى ظروف إضاءة مختلفة.
أ ـ epistrophe
ب ـ apostrophe

وتحركت قمة الجذر إلى أسفل، ليأخذ كل عضو اتجاهه الطبيعى الأصلى، وتسمى حركة الساق انتحاء أرضياً سالباً، وحركة الجذر انتحاء أرضياً موجب (شكل ٢٢).

تتجه الجذور ناحية الجاذبية الأرضية حيث يكون الجذر الأبتدائى أو الأصلى مواز لأتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى هذا النوع positively orthogeotropic وقد تكون الجذور تكون زاوية مع إتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى هذا النوع plagiogeotropic كما فى الجذور الثانوية وقد يكون النمو عمودى على إتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى هذا النوع diageotropic كما فى الريزومات أى للساق الريزوميه ، وفى حاله الساق الرئيسية فإنها تنمو رأسياً فى عكس إتجاه الجاذبية الأرضية أى negatively orthoge-otropic وتكون الفروع نامية بزاوية مع إتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى هذا النوع

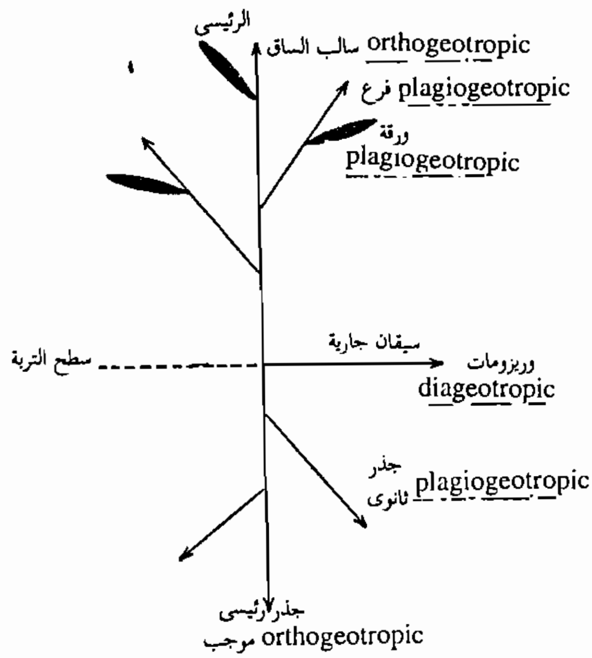
وتكون الأوراق في وضع زاوي على إتجاه الجاذبية الأرضية plagiogeotropic ويسمى هذا النوع أيضاً باسم plagiogeotropic (شكل ٢٣، ٢٤).

وعامة الجذر الرئيسي أو الإبتدائي يكون نموه ذو إنتحاء أرضي موجب positive geotropism والساق الرئيسي يكون نموه ذو إنتحاء أرضي سالب negative geotropism (شكل ٢٣، ٢٤)

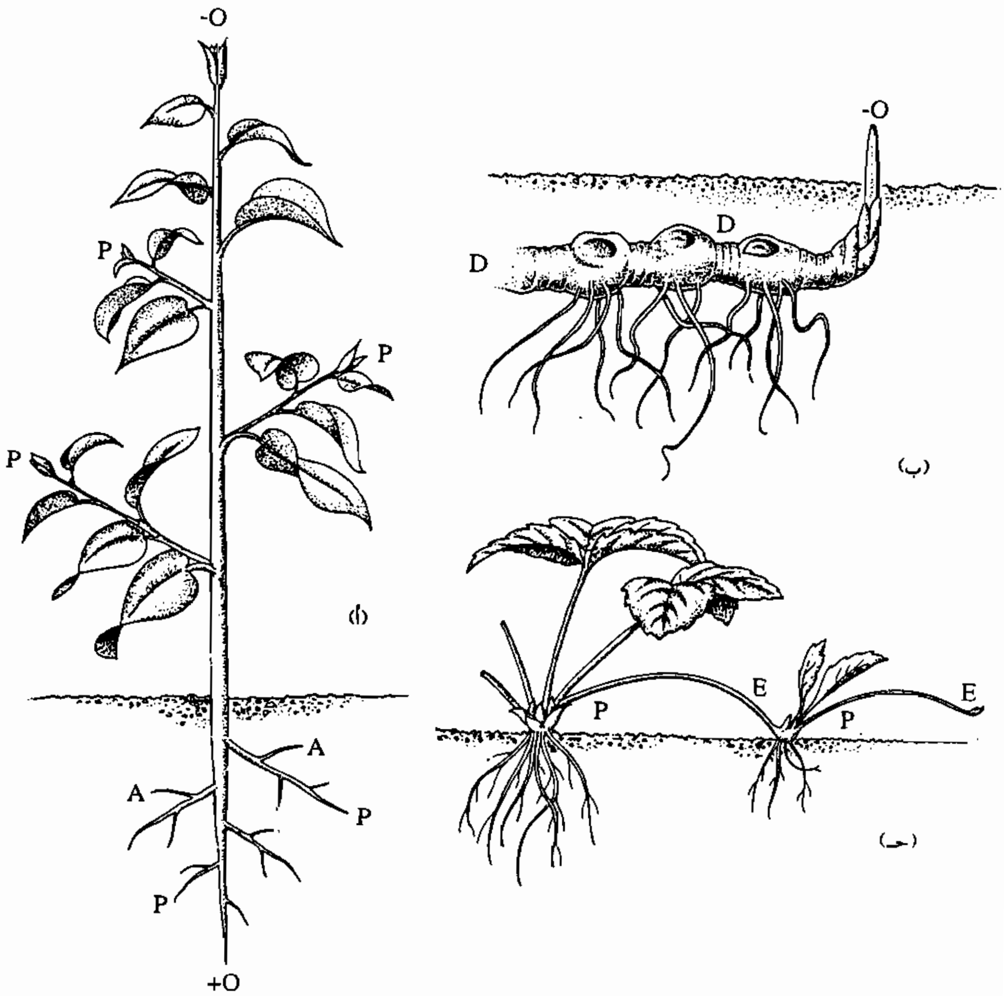


(شكل ٢٢) : الأنتحاء الأرضي

بادرة نبات الخردل توضع أفقياً (شمال) ثم نبات الخردل بعد يوم من وضعه أفقياً (يمين) ويلاحظ الأنتحاء الأرض السالب للسويقة والأنتحاء الأرضي الموجب للجذير.



(شكل ٢٣) : الأنواع المختلفة للإنتحاء الأرضي لأعضاء النبات المختلفة



(**شكل ٢٤**) : تأثير الجاذبية الأرضية على نمو أعضاء النبات

أ ـ ذو فلقتين (أنظر معنى الحروف فى الشكل السابق)

ب ـ نبات ذو ريزوم

جـ ـ نبات ذو سيقان جارية (الشليك)

ب ـ الإنتحاء الضوئي Phototropism: ينمو الساق فى اتجاه مصدر الضوء عادة بينما، لا يتأثر نمو الجذر باتجاه مصدر الضوء فى معظم الحالات. فإذا سلط الضوء على نبات من جانب واحد، شوهدت قمة الساق تتجه نحو مصدر الضوء، وتسمى هذه الحركة إنتحاء ضوئياً موجباً. ويبين شكل ٢٤ صورة لنبات عباد الشمس وضعت فى مكان مضيء، وسلط الضوء عليها من الجانب الأيمن فقط، فانتحى الساق نحو مصدر الضوء.

يعتبر نبات عباد الشمس أحد الأمثلة لذلك حيث أن النورة تتجه دائماً إلى مصدر الضوء أى إنتحاء ضوئى موجب positive phototropism. كثير من النباتات العشبية ذات أنتحاء ضوئى سالب فى وجود إضاءه قوية أى شمس ساطعة وضوء قوى وفى الظل تصبح هذه النباتات ذات إنتحاء ضوئى موجب وفى بعض النباتات فإن أعناق الأوراق تتجه ناحية مصدر الضوء ولذلك يصبح نصل الأوراق مواجه لمصدر الضوء وتكون الأوراق ما يسمى بالنظام أو الشكل الموازيكى mosaic pattern كما فى نبات حبل المساكين ivy. وفى بعض النباتات والتى تسمى نباتات البوصلة compass plants فإن النصل يكون زاوية عمودية على الشمس حيث أن نصل الأوراق يكون دائماً فى إتجاه الشرق والغرب ومن أمثلة ذلك بعض نباتات الجنس *Lactuca* مثل *L.scariola* والجنس *Silphium* . توجد أيضاً حالة sun - tracking فى بعض النباتات حيث أن الأوراق تتجه ناحية الشمس على مدار اليوم ففى الصباح يكون نمو الأوراق فى إتجاه الشمس أى إتجاه الشروق ومع حركة الشمس من الشرق إلى الغرب فإن الأوراق فى وقت الظهيرة تكون رأسية ونصلها أفقى وفى العصر فإن الأوراق تتجه ناحية الغرب وذلك فى نبات ترمس الصحراء *Lupinus arizonicus*.

عندما يكون سطح الأوراق عمودى على أشعة الشمس فإن هذه الحالة تسمى diaphototropism وعندما تكون الأوراق زاوية مع إتجاه أشعة الشمس تسمى هذه الحالة plagiophototropism .

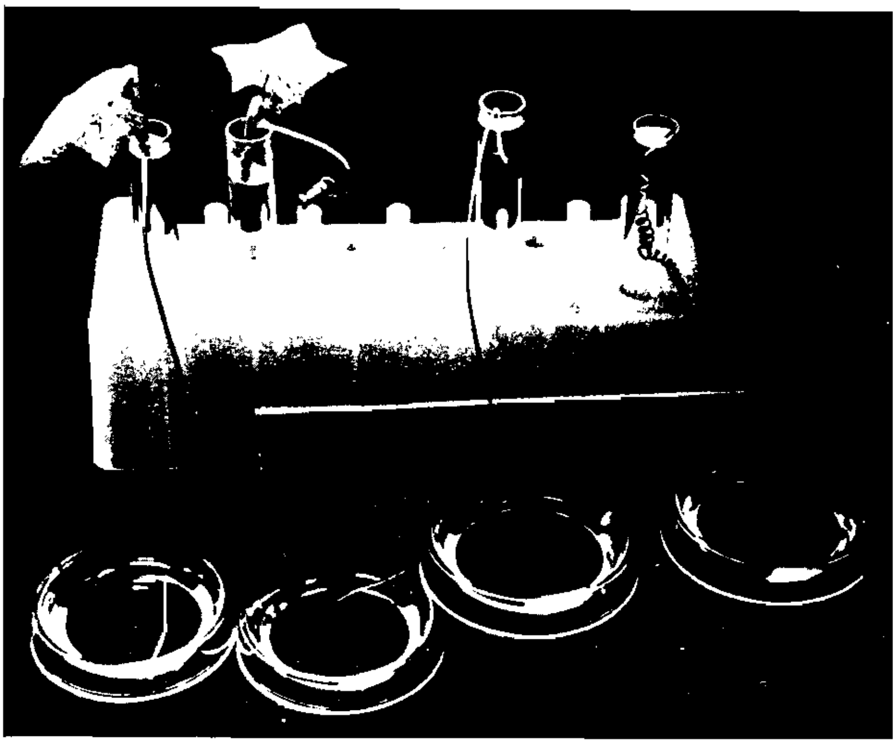
جـ ـ الإنتحاء اللمسى Thigmotropism : وأوضح أمثلته إنتحاء المحاليق فيلاحظ أن محاليق نبات الخيار أو البطيخ أو البسلة تنمو فى إتجاه دائرى بسرعة ملحوظة إذا لامست جسماً صلباً. ويؤدى هذا النمو إلى إلتفاف المحلاق حول الجسم الذى لامسه، وتسمى هذه الحركة بالإنتحاء اللمسى. ويكون الإنتحاء فى هذه الحالة سريعاً عادة، حتى إن محلاق الخيار يلتف حول الجسم الذى يلامسه عدة التفافات فى بضع دقائق. يمكن لمحلاق نبات *Passiflora gracilis* أن يلتف حول خيط حرير رقيق بينما محلاق العنب يحتاج إلى دعامة لايقل سمكها عن ٢ مم لكى يلتف عليها. يمكن أيضاً لبعض السيقان أن تظهر هذا الإنتحاء كما فى ساق الحامول وأيضاً الجذور الهوائية لأوركيد فانيللا *Vanilla*. وجد أن الإنتحاء اللمسى يسبب إلتفاف محاليق البسلة حول الدعامة (شكل ٢٥) ويسبب تكوين أعضاء التصاق adhesive pads فى طرف المحلاق فى نبات *Parthenocissus tricuspidata* (شكل ٢٥).





(**شكل ٢٥**) : محاليق البسلة (شمال) ووسائد إلتصاق لنبات *Parthenocissus tricuspidata* (يمين).

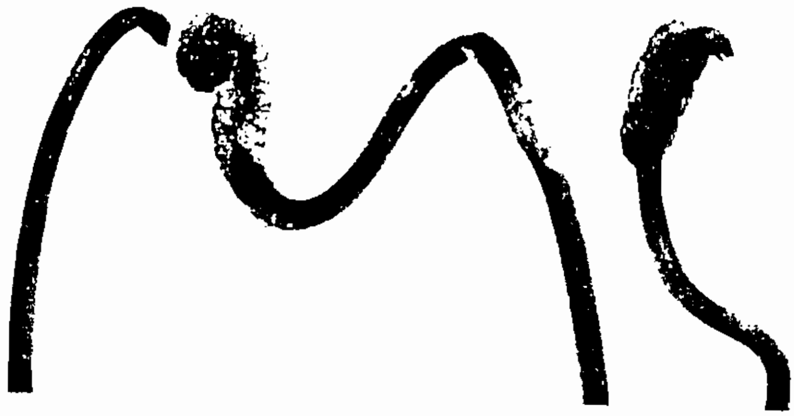
وجد أن أندول حامض الخليك له دور فى حدوث إلتفاف محلاق البسلة حيث أن المحاليق المعاملة بهذا الهورمون تلتف حول الدعامة بينما المحاليق الغير معاملة لا تلتف (شكل ٢٦).



(شكل ٢٦): تأثير IAA علي إلتواء محاليق نبات *Marah fabaceus*.

تم غمر المحلاق الثاني والرابع في الماء بينما تم غمر المحلاق الأول والثالث في IAA بتركيز ١٥٠ ملليجرام / لتر

وجد أيضاً أن معاملة محلاق نبات *Parthenocissus tricuspidata* بهذا الهورمون تسبب تكوين عضو الإلتصاق تماماً كما فى حالة التنشيط اللمسى للمحلاق (شكل ٢٧).



(شكل ٢٧) : تكوين وسائد الألتصاق فى *Parthenocissus tricuspidata.*
عومل المحلاق الأول باللمس وعومل المحلاق الثانى بأندول حامض الخليك بتركيز ٠,٠٥٪ فى عجينة لانولين وترك المحلاق الثالث طبيعى بدون معاملة حيث عومل بعجينة اللانولين فقط ويعتبر مقارنة . تكوين عضو إلتصاق فى الحالة الأولى والثانية ولم يتكون عضو إلتصاق فى الحالة الثالثة .

د ـ الإنتحاء الكيماوى Chemotropism: يحدث فى بعض الحالات إنتحاء كيماوى للجذور. حيث لوحظ إنتحاء كيماوى موجب لجذور نبات *Lupinus albus* عند وجودها بالقرب من أملاح معينة مثل sodium monohydrogen phosphate ويحدث إنتحاء كيماوى سالب للجذور عند وجودها بالقرب من أملاح معينة مثل نترات الكالسيوم ونترات البوتاسيوم وكبريتات الماغنسيوم. وعامة فأن تأثير المركبات على أنتحاء الجذور يتوقف على درجة تركيز المركب وأيضاً مدة التعريض للمركب وذلك تبعا للمعادله.

درجة تأثير المركب على أنتحاء الجذر = $C^n t$

حيث أن

C = درجة التركيز المركب

t = مدة التعريض للمركب

n = قيمة تتراوح بين ٢,٥ إلى ٣.

وفى حالة نبات الهالوك فإن جذور النبات العائل مثل الفول والجذر تفرز إفرازات خارج الجذور تنتشر فى التربة وتسبب هذه الأفرازات تنبيه إنبات بذور الهالوك وتكوين أنبوبة إنبات تتجه فى نموها فى إتجاه جذور العائل حيث تصيبه.

وجد أيضاً فى حالة إنبات حبوب اللقاح على الميسم فإن أنبوبة التلقيح تخترق الميسم والقلم حتى تصل إلى المبيض ثم تخترق البويضة ويدل ذلك على وجود أنتحاء كيماوى موجب لأنبوبة اللقاح فى إتجاه البويضة. وقد أمكن إثبات ذلك بالتجربة الآتية حيث تم عمل طبقة من الجيلاتين على شريحة زجاجية أو لوح زجاجى ثم تم وضع بويضات منفصلة وأجزاء من الميسم على طبقة الجيلاتين ثم نثر حبوب لقاح على طبقة الجيلاتين فحدث نمو لأنابيب اللقاح فى إتجاه البويضات وأجزاء الميسم ويعتبر ذلك إنتحاء كيماوى موجب لأنبوبة اللقاح. وقد أمكن إثبات أن المركب الكيماوى المسئول عن إنتحاء أنبوبة اللقاح هو السكروز فى المقام الأول ويلى ذلك الجلوكوز والدكسترين كما أتضح أن أملاح الأمونيوم والفوسفات ليس لها دور فى ذلك.

هـ ـ الإنتحاء الهوائى Aerotropism : وجد فى بعض الحالات أن الجذور تنمو فى إتجاه التركيز الكبير من الأكسجين كما فى نبات *Lupinus albus*.

و ـ الإنتحاء المائى Hydrotropism هو عبارة عن إنتحاء الجذور فى إتجاه التركيز العالى من بخار الماء ، ومن أفضل التجارب التى أجريت فى ذلك هى تجربة Sachs عام ١٨٧٢ . حيث أنبت بذور بسلة الطعام والفول فى وعاء يحتوى نشارة خشب مبللة رطبة وتتميز قاعدة الوعاء بأنها مائلة بزاوية حوالى ٤٥ درجة ومثقوبة.

ينمو الجذير إلى أسفل مخترقاً نشارة الخشب وعند القاعدة المائلة ينمو عليها ثم يخرج الجذير من أحد الثقوب ويستمر نموه خارج الوعاء عندما يكون الوسط خارج الوعاء مشبع ببخار الماء والعكس صحيح عندما يكون الوسط خارج الوعاء جاف فإن الجذير ينحنى ويخترق أحد الثقوب للداخل أى يتجه ناحية النشارة المبللة.

تختلف الأراء فى مدى حساسية جذور النبات البالغ لهذا الإنتحاء كما تختلف الحساسية من نبات لآخر. عامه جذور النبات البالغ لا تظهر حالة الإنتحاء المائى

بوضوح وأن بعض من النباتات تكون ذات جذور حساسة لهذا الإنتحاء وذلك عند نمو جذور النبات فى التربة بحالة طبيعية.

ز ـ إنتحاء حرارى Thermotropism: يحدث ذلك فى بعض الحالات من النباتات. وجد أن حامل الزهرة أى الساق الحاملة لـزهـرة *Anemone stellata* و *A.nemorosa* وأيضاً زهرة *Tulipa sylvestris* تنحى فى أتجاه الشمس على مدار اليوم أى تنحنى وتتبع حركة الشمس من الشرق إلى الغرب من الصباح إلى المساء. أى أن الزهرة تنحنى ناحية الشرق فى الصباح وتنحنى ناحية الغرب فى المساء، وأن ذلك يحدث تماماً وبنفس الطريقة عند تغطية الزهرة والساق بغطاء أسود.

ى ـ إنتحاء كهربائى Galvanotropism: وجد أن تعريض الخمسة ملليمترات القمية من غمد الريشة لنبات الشوفان لتيار كهربائى مباشر يسبب إنحناء الغمد. يعتقد أن ذلك نتيجة لتأثير التيار الكهربائى على توزيع الأوكسين داخل الغمد أو الساق أى أن التيار الكهربائى يسبب إختلاف فى تركيز الأكسين على جانبى الغمد ولذلك يحدث الإنتحاء.

ك ـ إنتحاء جرحى Traumatotropism: وجد أن عمل جروح أو إزالة أجزاء من النبات يسبب إنتحاء فى بعض الحالات. فقد وجد أن إزالة أحد فلقتى البادرة يسبب إنتحاء جرحى موجب أو سالب فى عدد من النباتات مثل عباد الشمس والخروع و *Agrostemma githago*و *Cucurbita pepo* و *Lupinus albus* و *Sinapsis alba*.

وجد أيضاً أن أزالة جزء من نصل الورقة يسبب إنحناء العنق والعرق الوسطى فى إتجاه الجزء المزال وقد أمكن إثبات هذه الحالة فى ستة عشر نوع من النباتات المختبرة من مجموع نباتات مختبرة عددها أربعة وعشرون نوع.

وجد أن إزالة وريقات الأوراق المركبة على أحد ناحيتى محور الورقة المركبة يسبب أنحناء محور الورقة المركبة فى إتجاه الوريقات المزالة. وجد أن ذلك صحيح فى ٥٨ نوع من النباتات من مجموع نباتات كلى هو ٩١ نوع وتتبع هذه النباتات عائلات مختلفة مثل الوردية والبقولية والشقيقية، وجد أيضاً أن إزالة الأوراق على جهة من

الساق تسبب إنتحاء الساق فى هذا الإتجاه وذلك فى بعض الحالات. وجد أن إزالة أزهار على جهة من المحور تسبب إنتحاء محور المحور فى هذا الإتجاه وذلك أيضاً فى بعض النباتات. أثبت دارون أن هذا النوع من الإنتحاء يحدث عند عمل جروح فى النبات بواسطة إستعمال نترات الفضة أو بواسطة عمل حرق burning لهذه الأجزاء.

ل ـ إنتحاء لتيار الماء Rheotropism: تنمو جذور بعض النباتات فى إتجاه عكس إتجاه تيار الماء الجارى ولذلك يسمى إنتحاء موجب لتيار الماء حيث تتجه الجذور إلى مصدر تيار الماء. والعكس صحيح يعتبر إنتحاء سالب لتيار الماء حيث تتجه الجذور فى إتجاه تيار الماء أى عكس مصدر الماء. وعامة فإن جذور البادرات أكثر حساسية لهذا النوع من الإنتحاء عنه فى حالة جذور النباتات البالغة. وعامة الحساسية لهذا النوع من الإنتحاء فى نباتات العائلة الصليبية والنجيلية.

بعض المصطلحات المستعملة فى الأنتحاء:

لا يؤثر المؤثر stimulus على النبات إلا بعد مدة كافية من زمن التعريض. ولذلك فإن أقل مدة ممكنة يعرض لها النبات أو العضو للمؤثر ويحدث إستجابة نتيجة لذلك تسمى زمن التعريض presentation time. يعتبر الزمن اللازم لإنتقال تأثير المؤثر من منطقة التأثير إلى منطقة الإستجابه response هو زمن الإنتقال conduction time يكون تأثير المؤثر فى كثير من الحالات غير فورى أى يحتاج إلى فترة معينة لكى تحدث الإستجابة وتسمى فترة التفاعل reaction وهذه الأخيرة تكون ثوان فى حالة الإنتحاء الكهربائى وتكون ساعات عادة فى الإنتحاء الأرضى والضوئى والحرارى والجرحى.

٣ ـ الحركة التأثيرية اللا إنتحائية Nastic Movement:

هى عبارة عن حركة تأثيرية نتيجة لمؤثر وليس لها علاقة بالأتجاه ناحية المؤثر.

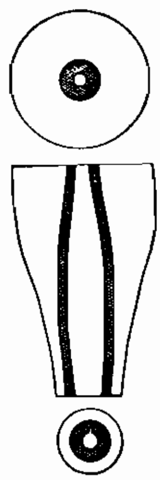
Occur independently of the direction of the environmental stimulus.

ولذلك فإنها تختلف عن الإنتحاء إختلاف جوهرى حيث أن الحركة فى الأنتحاء تكون عادة فى إتجاه أو عكس أتجاه المؤثر. قد تكون الحركة نتيجة للنمو أو نتيجة ضغط الإنتفاخ.

ومن الأمثلة الجيدة لهذه الحالة هى حالة تفتح البرعم الزهرى حيث يحدث إنحناء القنابات ووحدات الغلاف الزهرى للخارج وذلك نتيجة لسرعة نمو السطح أو الجزء العلوى عن السطح السفلى. يمكن أن يكون هذا التفتح نتيجة للإختلاف فى درجة الحرارة أو الإضاءة أو كلاهما. حيث أنه فى كثير من حالات nastic يمكن أن يكون ذلك راجع لأكثر من عامل ومثال ذلك درجة الحرارة والضوء.

وتنتج الحركات فى بعض الأنواع النباتية من تغيرات فى امتلاء خلايا عضو الحركة. pulvinus وتوجد هذه التراكيب فى أنواع كثيرة من الفصيلة البقولية. ويوجد عضو الحركة عادة عند قاعدة عنق الورقة وأيضاً عند نقطة اتصال النصل بالعنق، وهى تبدو ظاهرياً، كأجزاء قصيرة من العنق ومنتفخة إلى حد ما. وإذا وجدت أعضاء الحركة في الأوراق المركبة فإنه يوجد منها عادة واحدة عند اتصال كل وريقة بالعنق وواحدة أخرى عند قاعدة الورقة.

ويتركب عضو الحركة من خلايا كبيرة الحجم رقيقة الجدر متزاحمة وملاصقة لبعضها تحيط بشريط وعائى مركزى (شكل ٢٨).

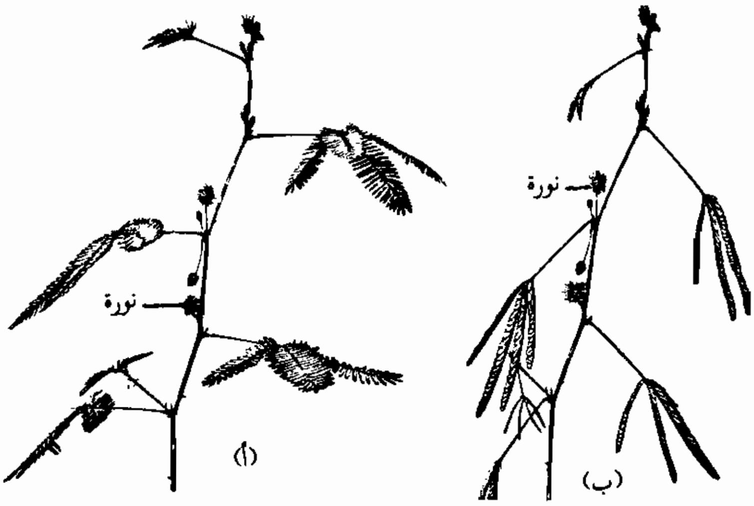


(**شكل ٢٨**) : توزيع الأنسجة الوعائية فى عضو الحركة
قطاع عرضى فى عضو الحركة (علوى) الأنسجة الوعائية مظللة.
قطاع طولى فى منطقة إنتقال بين عضو الحركة وعنق الورقة (وسطى).
قطاع عرضى فى عنق الورقة (سفلى).

وعندما تنتفخ جميع خلايا عضو الحركة بفعل ضغط امتلائها يصبح ارتكاز الورقة قوياً. وتنتج الحركات من تغيرات مفاجئة فى امتلاء خلايا جزء من أجزاء عضو الحركة بينما يبقى امتلاء خلايا الجانب المقابل كما هو وربما زاد. وعلى ذلك فالضغوط غير المتساوية التى تنشأ على جانبى عضو الحركة تجعل عنق الورقة يتحرك فى اتجاه الجانب الذى نقص ضغط الامتلاء فى خلاياه. وعندما تستعيد الخلايا المرتخية من عضو الحركة امتلاءها يدفع عنق الورقة ببطء إلى وضعه الذى كان يشغله قبل أن تحدث الحركة. وكثيراً ما يكون فقدان الامتلاء سريعاً جداً. وقد وجدت حركات امتلائية ملحوظة فى النبات الحساس استغرق حدوثها ٠,٠٧٥ من الثانية بعد «التنبيه» ، ويتم التأثير فى أكثر من الثانية بقليل. وتستعيد الخلايا امتلاءها عادة فيما بين ٨ ـ٢٠ دقيقة. وتختلف سرعة التأثر والعودة إلى الحالة الطبيعية اختلافاً كثيراً بشدة العامل المؤثر، وتكون الحركة الناتجة أسرع والشفاء أبطأ إذا كان العامل المحفز شديداً عما إذا كان ضعيفاً. غير أن حركة عضو الحركة فى بعض الأنواع تكون بطيئة بدرجة تجعلها غير ملحوظة مالم يستعمل القياس فى إدراكها.

والآلية التى تسبب التغيرات المفاجئة فى امتلاء الخلايا فى جزء من أجزاء عضو الحركة غير معروفة بوضوح. ويخرج الماء من الخلايا إلى المسافات البينية المجاورة، وربما دخل بعضه خلايا أخرى من خلايا العنق أو الساق المجاورة. ويبدو أن انتقال الماء من الخلايا إلى المسافات البينية مصحوب بزيادة فى نفاذية أغشيتها السيتوبلازمية وبنقص فى محتوى هذه الخلايا من المواد ذات النشط الأسموزى (أنظر حركة seismonasty) . وهذه التغيرات عكسية كلها لأن خلايا عضو الحركة غير الممتلئة يمكنها استعادة امتلائها فى فترة قصيرة من الزمن.

ويمكن إحداث حركات الامتلاء بعدة طرق مختلفة . فتنتج الحركات فى النبات الحساس من التلامس الفيزيائى ومن الجروح والتعرض لغازات مختلفة والصدمة الكهربائية والارتجاج وقلة الماء والانتقال من الضوء إلى الظلام أو العكس ومن عوامل أخرى كذلك ومثال ذلك المستحية (شكل ٢٩ ، ٣٠) .



(شكل ٢٩) : أوراق المستحيه عاديه (أ) وأوراق المستحيه نائمه (ب).



(شكل ٣٠) : حركة النوم فى المستحيه (أعلى) والأوكساليس (أسفل).

كذلك يبدى النبات الحساس اختلافاً فى درجة تأثره بأطوال الموجات الضوئية المختلفة. وتنتج حركات الامتلاء إذا أضيئت النباتات الموضوعة فى الظلام بأمواج ضوئية مناسبة الأطوال من مناطق الضوء الأزرق وفوق البنفسجية الطويلة والحمراء الطويلة. ولا تحدث حركات نتيجة التعرض للموجات البرتقالية أو الصفراء المخضرة أو تحت الحمراء.

والعوامل البيئية المسببة للحركات يمكن أن تستقبلها الأعضاء على مسافة محسوسة من عضو الحركة التى تحدث فيها تغيرات الامتلاء التى تسبب الحركة. فإذا أحرقت الوريقة الطرفية لورقة النبات الحساس بلهب فإن جميع الأوراق الموجودة على النبات كله قد تتأثر وتبدى حركات امتلائية عنيفة. وقد استرعت حركات الامتلاء الظاهرة التى يمكن إحداثها فى هذا النبات أنظار كثير من الدارسين كما أن الظاهرة قد درست مستفيضة، خصوصا فيما يتعلق بإنتقال آلية «المحفز» (أنظر حركة seismonasty). وإذا كان «المحفز» متوسط الشدة (كوضع نقط من الماء البارد على الوريقات) فإنه ينتقل على مايبدو خلال الخلايا الحية فقط، ويكون معدل انتقاله محكوماً بدرجة الحرارة وإذا جرحت وريقة بالحرق أو التمزيق، فإنه يبدو أن مواد خاصة تتكون فى موضع الجرح، وتنتقل هذه خلال الأوعية غير الحية من الجهاز الوعائى وتسبب تأثر أعضاء الحركة الموجودة بعيداً، إلى حد ما، عن موضع الجرح. ومهما تكن الآلية التى يتم بها التأثير على مسافة من موضع تأثير العامل المحفز فالتأثير واحد: هبوط مفاجئ فى امتلاء الخلايا فى جانب واحد من عضو الحركة يصحبة استبقاء أو زيادة امتلاء الخلايا الموجودة على الجانب المقابل من العضو.

يمكن تصنيف هذه الحركات كالآتى:

أ ـ حركة Photonasty. تعتبر التغيرات فى حركة وحدات الغلاف الزهرى أثناء تفتح كثير من الأزهار أو قفلها وأيضا حركة النوم sleep movements لبعض أوراق المجموع الخضرى على مدار اليوم الكامل من أفضل الأمثلة لهذه الحالة. وحيث أن هذه التغيرات تحدث نتيجة لتعاقب الليل والنهار ولها علاقة بحلول الظلام فإنها

تسمى nyctinastic. وحيث أن نتيجة لتعاقب الليل والنهار فإن الإختلاف يكون فى الضوء أو فى درجة الحرارة أو كليهما. ولذلك فإن حركة nyctinastic قد تكون photonastic أو thermonastic أو كليهما.

تعتبر حركة nyctinastic للأوراق هى أساساً photonasty. حيث أن الحركة تحدث نتيجة للإختلاف فى سرعة النمو على جانبى قاعدة الورقة أو نتيجة للتغير فى ضغط الإنتفاخ للخلايا على جانبى قاعدة الورقة.

يوجد نوع من الحركة photonastic نتيجة لإختلاف فى سرعة النمو على جانبى قاعدة الورقة فى بعض نباتات العائلة balsamineae ومنها نبات *Impatiens* حيث أن الأوراق تتهدل وتتدلى لأسفل droop أثناء الليل وتصبح غير متهدلة بل عادية expanded وتقريبا أفقية الوضع أثناء النهار. وجد أن العامل المؤثر فى هذه الحالة هو الضوء والظلام ولذلك تعتبر photonastic.

يوجد نوع من الحركة photonastic نتيجة للتغير فى ضغط إنتفاخ الخلايا على جانبى قاعدة الورقة فى بعض نباتات العائلة oxalidaceae والبقولية وبعض النباتات التيريدية مثل *Marsilia*. تسمى عادة قاعدة الورقة فى هذه الحالة motile pulvini. وفى حالة الأوكساليس تكون الورقة مركبة راحيه من ثلاث وريقات. تكون الوريقات تقريبا أفقية فى أثناء النهار وتتدلى droop إلى أسفل فى الليل ويصبح العرق الوسطى لكل وريقة مواز تماما لعنق الورقة. كما أن الوريقة ينطبق نصفيها على بعضها جزئيا (شكل ٣٠).

تعتبر حركة nyctinastic للبراعم الزهرية أساسا حركة نمو أى نتيجة للإختلاف فى سرعة النمو على جانبى قاعدة الورقة . وقد تفتح الأزهار أثناء النهار وهو المعتاد ولكن قد يحدث العكس فى بعض الأزهار مثل *Oenothera* والتبغ وبعض أنواع الصبار *Cereus grandiflorus*

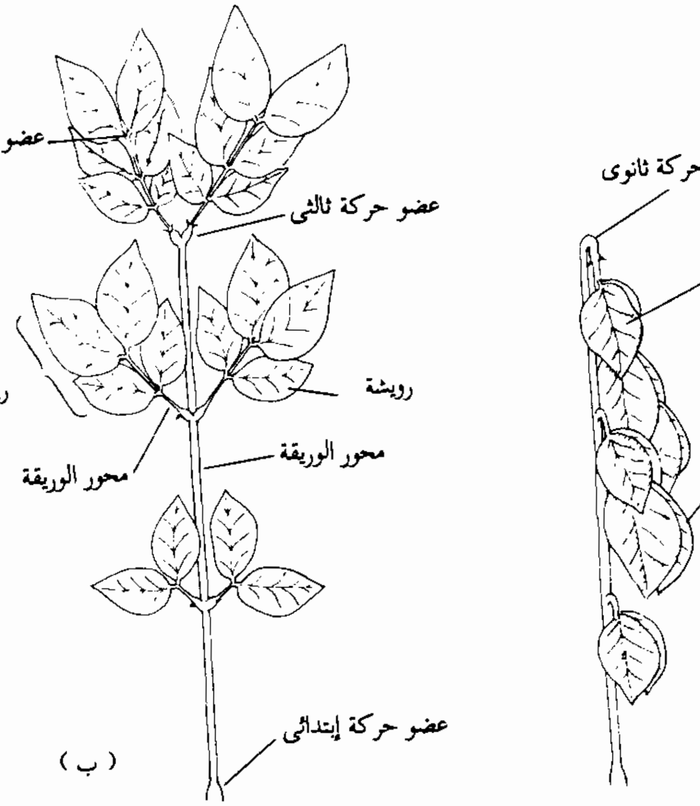
ب ـ حركة Thermonasty: من أفضل الأمثلة لذلك تفتح أزهار التيوليب *Tulipa*

والكروكس *Crocus* (الزعفران). حيث أن إرتفاع درجة الحرارة يسبب تفتح الأزهار وإنخفاض درجة الحرارة يسبب قفل الأزهار. حيث أن فى درجة حرارة عشرة درجات مئوية تقفل الأزهار وفى درجة حرارة ٢٠ إلى ٢٥ درجة مئوية تفتح الأزهار. وهذه تعتبر حركة نمو فى قاعدة تبلات الزهرة. توجد أمثلة أخرى لذلك مثل بعض أنواع الشقيق والأنيمون واللحلاح.

توجد حركات من هذا النوع نتيجة لإختلاف فى ضغط الإنتفاخ فى خلايا motile pulvini للأوراق كما فى المستحية و *Desmodium gyrans*.

حـ ـ حركة Hydronasty: بعض حالات الحركة nyctinastic فى الأوراق تكون نتيجة لإختلاف درجة الأضاءة أو درجة الحرارة أو كليهما وقد يوجد عامل ثالث فى قليل من الحالات هو رطوبة الجو حيث أن رطوبة الجو يمكن أن تتغير نتيجة لتغير درجة الإضاءة ودرجة الحرارة ومن هذه النباتات حالة حركة نوم أوراق *Oxalis* وأيضا فى *Myriophyllum proserpinacoides*.

ء ـ حركة Nyctinastic: تم شرح هذا النوع من الحركة فى الحالات السابقة. ومن النباتات التى تظهر هذه الحركة المستحية ونبات *Samanea saman* والنبات الأخير بقولى إستوائى يعرف بإسم شجرة المطر rain tree أو شجرة قرن القرد monkey pod tree. الورقة فى هذا النبات مركبه ريشية متضاعفة تتكون من وحدات عبارة عن وريقات تسمى الوريقة ريشة pinna فكل ريشة تتكون من ٢ إلى ٦ ست رويشات pinnule. وفى قاعدة الورقة يوجد primary pulvinus وفى قاعدة الريشة يوجد secondary pulvinus وفى قاعدة الرويشة يوجد tertiary pulvinus تظهر الأوراق حركة النوم sleep movement حيث تتدلى الريشات والرويشات أثناء الليل وتعتدل أثناء النهار (شكل ٣١).



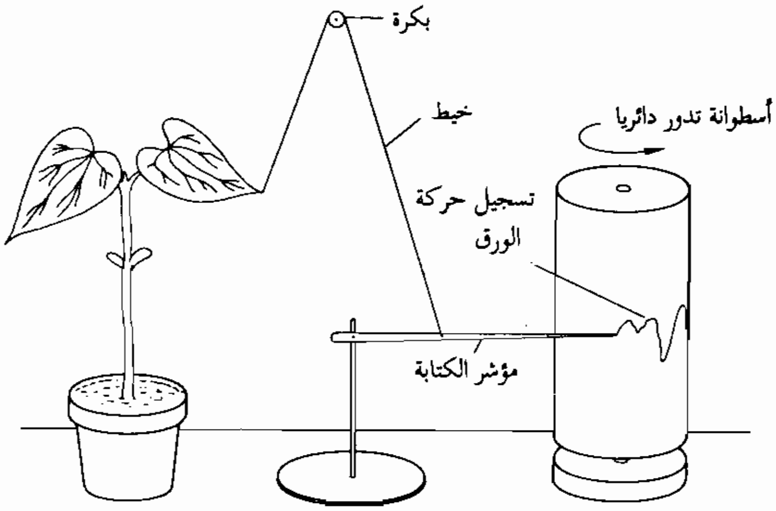
(شكل ٣١) : ورقة نبات شجرة المطر أو شجرة قرن القرد *Samanea saman* أثناء الليل (أ) وأثناء النهار (ب).
حركة النوم تتحكم فيها ثلاثة أنواع من أعضاء الحركة وهى الأبتدائية والثانوية والثالثية.

وحيث أن هذه الحركة على مدار اليوم الكامل وتتكرر يوميا فتسمى circadian rhythm حيث أن معنى rhythm هى عملية متكررة بإنتظام ومعنى circadian هو مدتها يوم تقريباً حيث أن هذه الكلمة لاتينية ومعناها حرفيا تقريبا ويوم approximately and day. تحدث الحركة فى النبات السابق نتيجة للتغير فى ضغط الإنتفاخ فى خلايا pulvinus. ومما هو جدير بالذكر أن الترجمة الحرفية للكلمة nyctyinastic هو قفل أثناء الليل night closing. وتظهر هذه الحركة فى بعض النباتات وخاصة التى تتبع العائلة البقولية مثل الفاصوليا والمستحية والفول السودانى وجنس اللبخ *Albizzia*.

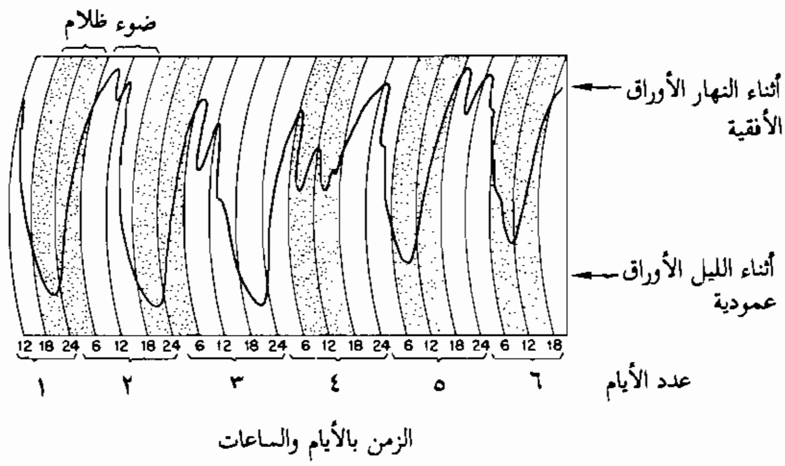
يمكن قياس الزمن بواسطة هذه الأوراق حيث أنها تعتدل أى تستيقظ فى موعد ثابت ثم تتدلى أى تنام فى موعد ثابت أى أنها تشعر بالزمن والوقت تماما كالإنسان النشيط الذى يعمل يومياً فى نشاط ويستيقظ مبكراً للعمل وينام مبكراً أيضا للراحة وهكذا يكرر ذلك يوميا معتمداً فى ذلك على ساعته لضبط وتوقيت موعد الإستيقاظ والنوم. ولذلك فإن النبات ذو الأوراق التى تنام قياس للزمن ويمتلك ساعة بيولوجية biological clock. لضبط توقيت النوم والأستيقاظ فى الأوراق فى مواعيد ثابتة وتتكرر يومياً فى موعد ثابت وبنظام ثابت. وحيث أن حركة الأوراق فى هذه النباتات دقيقة أى محافظة على مواعيدها أى أن مواعيدها دقيقة لا تؤخر ولا تقدم فإن الأوراق وتسمى أحيانا بأنها أذرع الساعة البيولوجية the hands of biological clock . ويعتبر ضبط المواعيد فى هذه الساعة نتيجة لوجود نظام معين يسمى الدوران الداخلى internal oscillator. يعتبر مركب الفيتوكروم هو أساس هذا النظام وأيضا أساس الساعة البيولوجية كما سيلى شرحه فى هورمونات الأزهار فى الجزء الأخير من هذا الكتاب.

يمكن رصد حركة أوراق نبات الفاصوليا على مدار اليوم بواسطة جهاز كيموجراف kymograph (شكل ٣٢) وحيث يلاحظ أثناء الليل تتدلى الورقة وفى أثناء النهار تعتدل ويتم رصد ذلك على ورقة رسم بيانى مثبتة على أسطوانة تدور حركة دائرية منتظمة. وحيث يتم توصيل قمة الورقة وقلم مداد بواسطة خيط رفيع يمر على بكره. وهكذا نتيجة لتدلى الأوراق أو إعتدالها يتم رسم منحنى بواسطة قلم الحبر أو ريشة تشبه القلم البسط على ورق الرسم البيانى. يمكن تسجيل ذلك لأيام عديدة (شكل ٣٣).

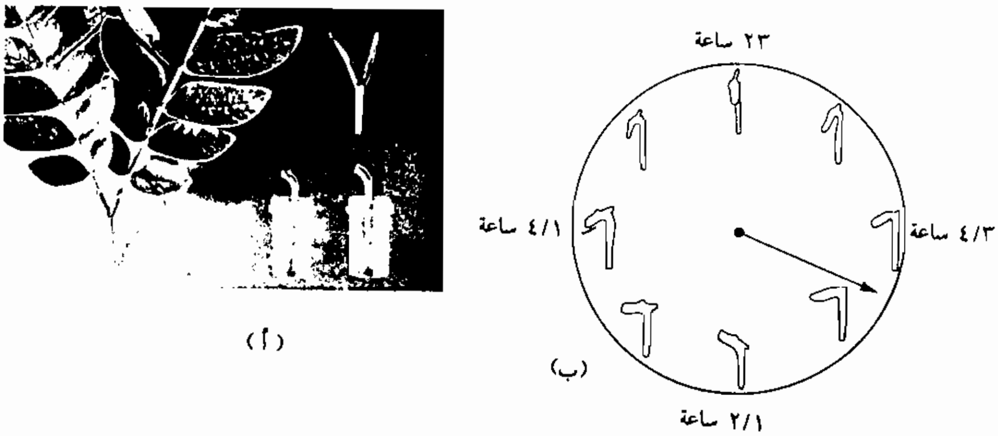
وفى تجربة أخرى بعد قطع secondary pulvini ووضعها فى محلول سكروز وذلك لنبات *Samanea*. فإن تدلى الجزء القمى وإعتداله يحدث بإنتظام لعدة أيام وتحدث دورة كاملة من التدلى والإعتدال كل ٢٣ ساعة فى الظلام وتحتاج الدورة إلى مدة أطول نسبياً فى الضوء (شكل ٣٤).



(**شكل ٣٢**) : طريقة قياس حركة أوراق الفاصوليا .



(**شكل ٣٣**) : تسجيل لحركة أوراق الفاصوليا أثناء الليل والنهار لمدة ستة أيام



(شكل ٣٤) : حركة الوريقة فى نبات *Samanea*

أ ـ عضو حركة ثانوى secondary pulvinus بعد قطعة ومفصلة عن الوريقة ويوضع فى أنبوبة بها سكروز حيث تظهر الحركة الدائرية وتكون دورة واحدة فى ٢٣ ساعة فى الظلام وتزيد الفترة عن ذلك فى الضوء.

ب ـ زاوية حركة عضو الحركة الثانوى فى أزمنة مختلفة أثناء الدورة الواحدة والتى تحتاج إلى ٢٣ ساعة فى الظلام.

وقد وجد أن درجة الحرارة والإضاءة وبعض الأيونات مثل الليثيوم وأيضا الماء الثقيل heavy water وكحول الإيثيل يمكن أن تؤثر فى مدة أو فى طور حركة الأوراق rhythm phase فى النبات السابق. وجد أيضا أن المركبات التى تؤثر على هذه الحركة تؤثر أيضا على نفاذية الأغشية الخلوية ولذلك يعتقد أن نفاذية المركبات من وإلى الخلية وأيضا نفاذية المركبات من وإلى عضيات الخليه يسبب تغيرات فى كيمياء الخلية وأيضا فى سلوك الخلية ولذلك تحدث التغيرات اليومية circadian rhythm.

وجد أن التغيرات فى أثناء rhythm يقابلها حدوث تغيرات فى تركيب الأغشية فى طحلب وحيد الخلية هو *Gonyaulax*. حيث وجد أن بعض الأجزاء البروتينية فى الغشاء تتغير فى تعداد ما متفقة فى ذلك مع التغيرات اليومية للـ (change in rhythm frequency in a circadiian manner). ولكـن حتـى الآن غير معروف

كيف يحدث التغير اليومى فى تعداد أجزاء أو جزيئات البروتين فى الغشاء. يجب الإجابة على هذا السؤال لكى نحاول تفسير كيفية عمل الساعة البيولوجية فى النبات.

أما عن ميكانيكية حدوث الحركة فى الأوراق فى هذه الحالة nyctinastic هو نتيجة للتغير فى حجم خلايا الحركة motor cells فى عضو الحركة pulvinus يوجد عضو الحركة دائما فى قاعدة الورقة أو الوريقة أو الريشة أو الرويشة. حيث أن خلايا الحركة على الجانب الآخر تنكمش ولذلك تفتح الوريقات والعكس صحيح حيث يختلف الوضع على جانبى عضو الحركة ولذلك تنطوى الوريقات. يتم تنظيم حجم خلايا الحركة بواسطة الإنسياب الكتلى أى الكبير massive flux لكاتيون البوتاسيوم وأنيون الكلور من وإلى الفجوات العصارية لهذه الخلايا. زيادة تركيز كاتيون البوتاسيوم وأنيون الكلور يقلل من water potential للخلايا أى يزيد الضغط الإسموزى وينتج عن ذلك الزيادة الكبيرة فى إنسياب الماء إلى داخل الخلايا وإنتفاخ الخلايا بينما العكس صحيح فى قلة تركيز كاتيون البوتاسيوم وأنيون الكلور. تتحكم الأغشية الخلوية لخلايا الحركة فى توزيع ثم إعادة توزيع هذين الأيونين

٥- حركة Chemonasty : وجد أن تعريض أوراق المستحية لبخار الكلوروفورم يسبب حركة أعضاء الحركة للأوراق وإنكماش وضم الأوراق على بعضها أى حركة إستحياء. ونفس الشيئ يحدث عند تعريض أوراق نبات *Callisia repens* لغاز الفحم coal gas. ومن المعروف أن حركة المستحية نتيجة للتغير فى ضغط إنتفاخ الخلايا أى أنها علاقات مائية. وجد أيضاً أن أسدية نبات البربرس *Berberis* يحدث لها هذه الحالة عند تعريضها لبخار النوشادر أى الأمونيا وتتلخص الحركة فى أنكماش سريع مفاجىء فى خيط السداه.

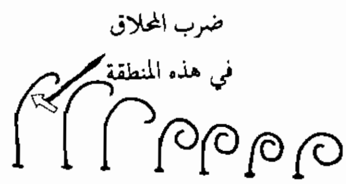
أما فى نبات الدروسيرا *Drosera rotundifolia* وهو من النباتات آكلة الحشرات فإن الحركة تكون راجعة لإختلاف سرعة النمو على الزوائد الغدية *tentacles*. يحمل السطح العلوى للأوراق شعيرات صغيرة غير غدية كما يحمل عدد كبير من

لشعيرات الغدية tentacles يتراوح عددها من ١٣٠ إلى ٢٦٠ على الورقة الواحدة. وهذه الشعيرات الغدية تكون قصيرة وقائمة فى وسط الورقة بينما تكون أطول ويزداد إنحنائها للخارج كلما إقتربت من حافة الورقة. وعلى حواف الورقة فإنها تنحنى للخارج أو لأسفل. كل شعيرة غدية تتكون من عنق ينتهى بغدة منتفخة إهليجية الشكل وتفرز الغدة محلول لزج يحتوى أنزيمات محللة للبروتين. وهذه الأنزيمات تحلل جسم الحشرة عند ملامستها وإلتصاقها بالشعيرات الغدية. وجد أن إضافة قطرة من الماء المقطر على ورقة النبات تسبب إنحناء بسيط جداً للشعيرات الغدية للداخل. كما وجد أن إضافة قطرة من محلول مائى للورقة يحتوى على أحد المركبات الآتية اللبن أو البول أو ألبيومين البيض أو اللعاب أو منقوع اللحم meat infusion أو بعض أملاح الأمونيوم والصوديوم أو كثير من الأحماض يسبب إنحناء كبير للشعيرات الغدية للداخل إلى وسط الورقة وجد أن بعض المركبات الأخرى ليس لها تأثير فى ذلك مثل السكروز والنشا وكحول الإثيل وزيت الزيتون وأملاح البوتاسيوم. وجد أن إنحناء الشعيرات الغدية هو نتيجة لإختلاف سرعة النمو على جانبى الشعيرة حيث ينمو الجزء الخارجى أسرع من الجزء الداخلى للشعيرة بدرجة كبيرة. يحدث الإنحناء بدرجة كبيرة بعد مرور حوالى ثلاث ساعات ونصف. ويلى ذلك سرعة كبيرة فى نمو الجانب المقعر ينتج عنه إستقامة الشعيرة الغدية تدريجياً حتى تصل إلى إستقامة كاملة بعد يوم كامل. ونتيجة لذلك تنمو الشعيرة فى الطول. نتيجة لذلك فإن الشعيرة الغدية تنحنى وبعد فترة تبدأ فى الإستقامة تدريجياً لترتد إلى وضعها الطبيعى والمحصلة النهائية لذلك هو نمو الشعيرة الغدية طولياً. وجد أن تكرار هذه الحالة ثلاث مرات أى الإنحناء والإستقامة ينتج عنه نمو الشعيرة الغدية فى الطول مسافة ٤٣, ملليمتر فى المرة الأولى ومسافة ٣٧ر٠ ملليمتر ثم ٢٤ر٠ ملليمتر وذلك فى المرتين الثانية والثالثة على التوالى، وبعد المره الثالثة تصبح الشعيرة غير قادرة عل النمو وأيضاً غير قادرة الإنحناء للداخل. تبدأ زيادة سرعة النمو فى الخلايا من قاعدة الشعيرة ثم تزداد السرعة تدريجياً إلى أعلى الشعيرة وعندما تكبر الشعيرة فى السن تصبح زيادة سرعة النمو محدودة فى القاعدة فقط.

و ـ حركة Thigmonasty = Haptonasty : تحدث هذه الحالة عند لمس الجزء الحساس فأن الأوراق أو الأجزاء الحساسة تنقبض.

ومثال ذلك عند لمس أوراق المستحية فإنها تستحى وتنكمش، وأيضاً عند لمس الشعيرات الغدية لنبات الدروسيرا فإنها تنحنى للداخل كما أن الغدد تنشط أيضاً فى تكوين المحلول المحتوى على الأنزيمات الهاضمة كما فى حالة وجود الحشرة تماماً.

وجد أيضاً أن لمس محلاق البسلة أو ضربة stroke بقضيب زجاجى يسبب إنحناء المحلاق نتيجة لإختلاف سرعة نمو الخلايا على جانبى المحلاق. يبدأ حدوث الإنحناء والإلتفاف بعد دقيقتين من اللمس أو الضرب ويستمر ذلك لمدة تزيد عن يومين . يحدث الإنحناء والإلتفاف فى طورين متميزين فى الطور الأول first phase يحدث أن الخلايا المواجهه للمس أو الضرب تنكمش والخلايا فى الجهة الأخرى تتمدد وفى الطور الثانى second phase تتمدد وتستطيل وتنمو الخلايا على كلا الجهتين ويكون ذلك أسرع فى الجهة البعيدة عن اللمسة عنه فى الجهة القريبة من اللمس (شكل ٣٥).



		٦٤	٣٢	١٦	٨	٤	٢	صفر
الزمن بعد الضرب	(ثوان)	٦٤	٣٢	١٦	٨	٤	٢	صفر
درجة الأنحناء	(ه)	٤٩٥	٥٤٠	٤٩٥	٤٥٠	٣١٥	٢٧٠	٢٢٥
الطول	(م)	٧٦	٦٨	٧٤	٧١	٧١	٦٦	٦٦

(**شكل ٣٥**) : حركة محلاق البسلة والذى تم ضربه بقضيب زجاجى خمسة مرات.

والنتيجة النهائية لذلك زيادة طول المحلاق وإلتفافه. ويتدخل فى عمل ذلك أوكسين أندول حامض الخليك والإثيلين كما سيلى شرحه فى الجزء الخاص بالإثيلين فى هذا الكتاب. وجد أيضاً أن الضوء يشجع حدوث إلتفاف المحلاق وليس للفيتوكروم دور فى ذلك. حيث أن للفيتوكروم دور فى حركات nyctinastic للأوراق. حيث أن الضوء فى هذه الحالة مباشر حيث تحدث عملية البناء الضوئى وينتج عنها جزئيات ATP وأن إلتفاف ونمو المحلاق يحتاج إلى طاقة يستمدها من ATP. حيث وجد أنه يمكن الإستعاضة عن الضوء فى المحلاق المقطوع وذلك بوضع ATP فى المحلول النامى عليه المحلاق المقطوع وينتج عن ذلك الإلتفاف فى عدم وجود الضوء. حيث يوضع ATP فى المحلول الطافى عليه floated المحلاق المقطوع كما أمكن قياس تحول كبير جداً فى هدم ATP إلى ADP وفوسفات أثناء إنحناء وإلتفاف المحلاق.

مما سبق يتضح أن حركة المستحية هو نتيجة للتغير فى ضغط إنتفاخ الخلايا بينما محلاق البسلة والشعيرات الغدية للدروسيرا هى نتيجة للنمو.

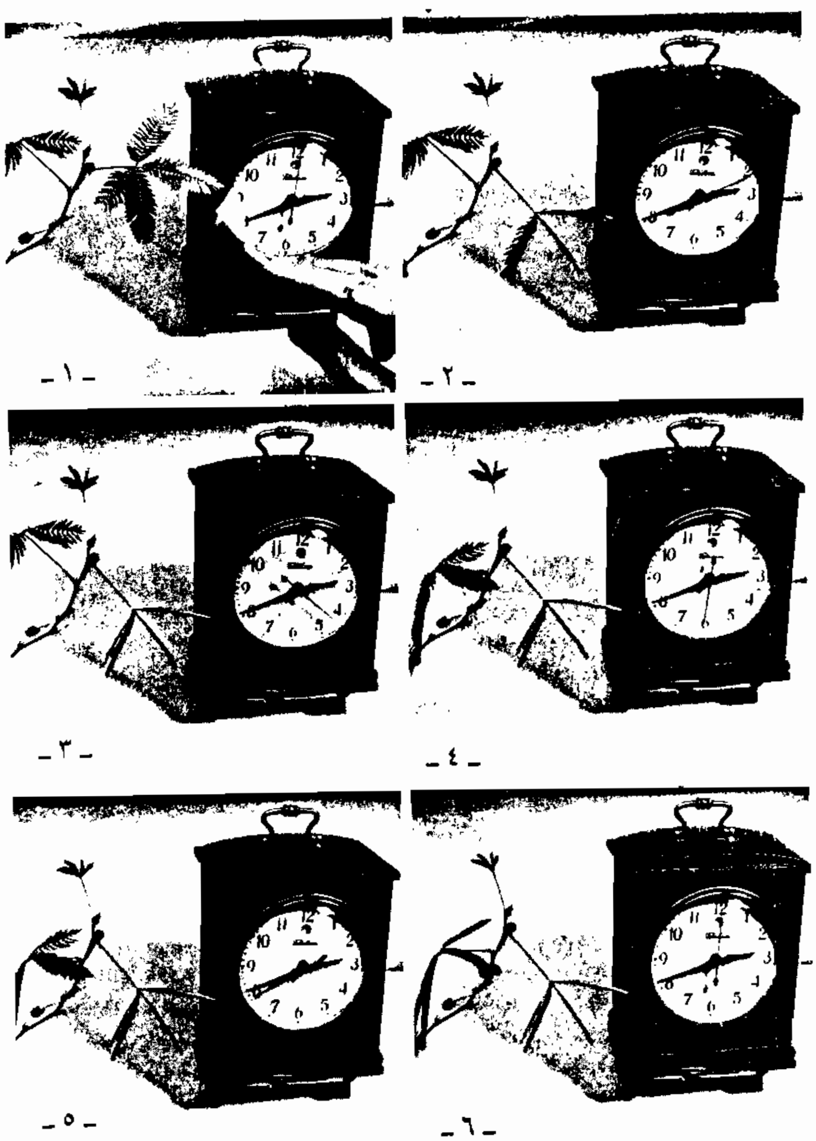
ز ـ حركة Electronasty = Galvanonasty: يمكن تعريض النبات أو جزء منه مثل الفروع أو الأوراق لصدمة كهربائية electrical shock وذلك بواسطة ملف حيث يتم سريان فولت عال فى النبات أو جزء من أجزائه. وجد أن التيار الكهربائى فى نبات المستحية يسبب إنكماش الأوراق فى إستحياء. وجد أن إستجابة الأوراق للتيار الكهربائى تكون أقل من الثانية وزمن إنكماش الأوراق يحدث تماماً بعد حوالى ثانية ونصف، وزمن إرتداد الأوراق لحالتها الطبيعية مره أخرى يكون فى مدة تتراوح بين ٨ إلى عشرون دقيقة. وعامة زمن الشفاء أى زمن الإرتداد للحالة الطبيعية يتوقف على شدة التيار الكهربائى ومدته والظروف البيئيه الأخرى، وكلما زادت شدة التيار أو مدته كلما زاد زمن الشفاء recovery أى الإرتداد للحالة الطبيعية. هذه الحالة هى حركة نتيجة لإختلاف ضغط الإنتفاخ لخلايا الحركة فى عضو الحركة وليس لها علاقة بالنمو. وجود الأوزون فى البيئة يزيد من إستجابة وحساسية النبات للصدمة والعكس صحيح فى حالة بخار الإثير والكلوروفورم والأمونيا.

ك ـ حركة Seismonasty : وهى إستجابة جزء من أجزاء النبات مثل الأوراق أو المحلاق لتأثير صدمات ميكانيكية mechanical shocks مثل الإهتزاز بعنف أو الضغط أو الخبط أو الجروح أو اللهب أو النيران أو التيار الكهربائى والإحتراق ولذلك تعتبر electronoasty من هذا النوع وأيضاً بعض أنواع thigmonasty .

تعتبر المستحية مثال جيد لهذه الحالة حيث أنها تتأثر بالصدمات الكهربائية كما أن خبط الأوراق يؤثر على حركاتها وبالإضافة إلى ذلك فإنها تتأثر باللهب والنيران والحريق وتنكمش أوراقها، ومن أمثلة ذلك أنه عند إشعال عود ثقاب أى كبريت وتقريب اللهب من الأوراق دون لمسها فإنه يسبب إنكماش الأوراق. جميع الحالات السابقة فى هذا النبات seismonasty وبالإضافة إلى ذلك فإن المستحية تظهر حالات أخرى عديدة مثل thigmonasty و nyctinasty .

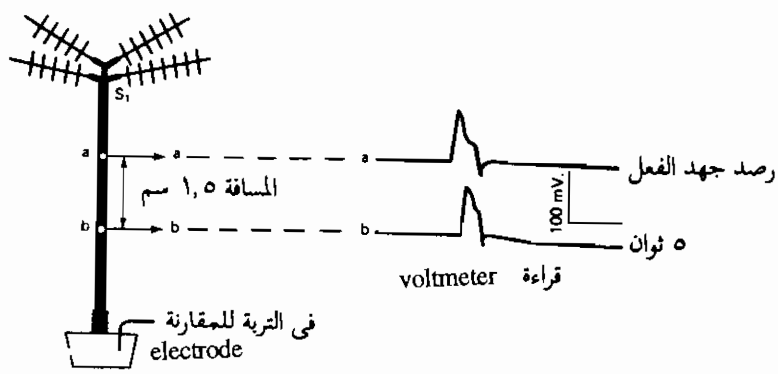
من المعروف أن أوراق المستحية وأيضاً *Samanea* تظهر حركة يومية لتدلى وأعتدال الأوراق circadian nyctinastic movement وبالإضافة إلى ذلك فإنها تظهر حركة الإنكماش أو التدلى بسرعة إستجابة للمنشطات الميكانيكية والحرارية والكيماوية والكهربائية واللهب والحريق. فعند لمس الورقة فإن عنق الورقة تتدلى وتنضم الرويشات على بعضها فى حركة إستحياء (شكل ٣٦).

وهذه الإستجابة السريعة تحتاج إلى درجة كبيرة من التوافق والإرتباط بين أجزاء الورقة المختلفة. تحدث هذه الحالة نتيجة لتحويل المؤثر أو المنشط الميكانيكى نتيجة للمس إلى إشارة كهربائية electrical signal بواسطة الخلايا الحساسة sensory cells الموجودة على عنق الورقة. تعتبر الإشارة الكهربائية حالة من حالات a propagated depolarization of a membrane تنتقل الإشارة الكهربائية بسرعة خلال النسيج حتى تصل إلى خلايا الحركة فى أعضاء الحركة pulvinar motor cells يحدث تغيرات فى حجم الخلايا الأخيرة والتى ينتج عنها حركة الأوراق أو الوريقات.



(شكل ٣٦) : حركة أوراق المستحيه بعد تعريضها لعود ثقاب مشتعل ومسجلة بالزمن.

يمكن قياس الإشارة الكهربائية المتزايدة propagated electrical signal بواسطة قطبين زجاجيين كلاهما مملوء بمحلول ملحي a pair of saltfilled glass electrodes. يوضع أحد القطبين على عنق الورقة ويوضع القطب الآخر فى التربة المحيطة بجذور النبات أو فى تربة الأصيص المحتوى على النبات. تعتبر الأشارة الكهربائية فى هذه الحالة هى التغير فى درجة الفولت voltage بين القطبين the signal consists of a transitory change in voltage between the electrodes يلى ذلك تغير الفولت مرة أخرى ليرتد إلى الحالة الطبيعية أى يرتد إلى القيمة الأصلية original value (شكل ٣٧).

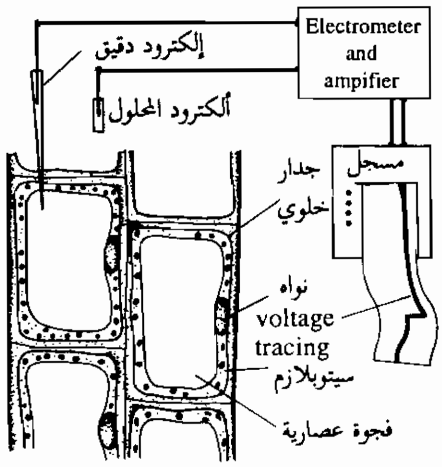


(**شكل ٣٧**) : الأنتقال الكهربائى فى عنق ورقة المستحية a b إلكترودين.
يوجد أيضاً إلكترودين للمقارنة فى التربة S 1 مبرد

تتحرك الإشارة بسرعة حوالى ٢ سم لكل ثانية فى عنق الورقة فى المستحية بينما تكون عشرة سم لكل ثانية فى أوراق أحد النباتات الآكلة للحشرات وهو نبات الديونيا *Dionaea*. تزداد سرعة الإشارة ثلاث أضعاف لكل زيادة عشر درجات فى الحرارة ويدل ذلك أن للتفاعلات الكيماوية دور فى ذلك. كما أن الإشارة تتوقف عند إزالة اللحاء ويدل ذلك على أن الإشارة تتحرك عبر نسيج اللحاء. كما أن الإشارة لا

تخترق النسيج الميت أى أن النسيج الميت يعتبر حاجز ويدل ذلك على أن الإشارة ليس لها علاقة بالهورمونات الذائبة فى الماء والقابلة للإنتشار.

يعتبر إستعمال الأقطاب external electrodes دليل على أن النبات يستعمل الإشارات الكهربائية كأداة للإتصال بين خلية وأخرى ولكنه لا يوضح كيفية الإنتقال أو ميكانيكية الأنتقال للأشارة الكهربائية فى الخلايا .يمكن إستعمال أقطاب صغيرة microelectrodes (شكل ٣٨).



(**شكل ٣٨**) : قياس الجهد الكهربائى فى خلايا النبات

يلاحظ أن الإلكترود الدقيق المسحوب يوجد داخل الفجوة بينما الإلكترود الكبير يوجد فى محلول طافى عليه النسيج النباتى.

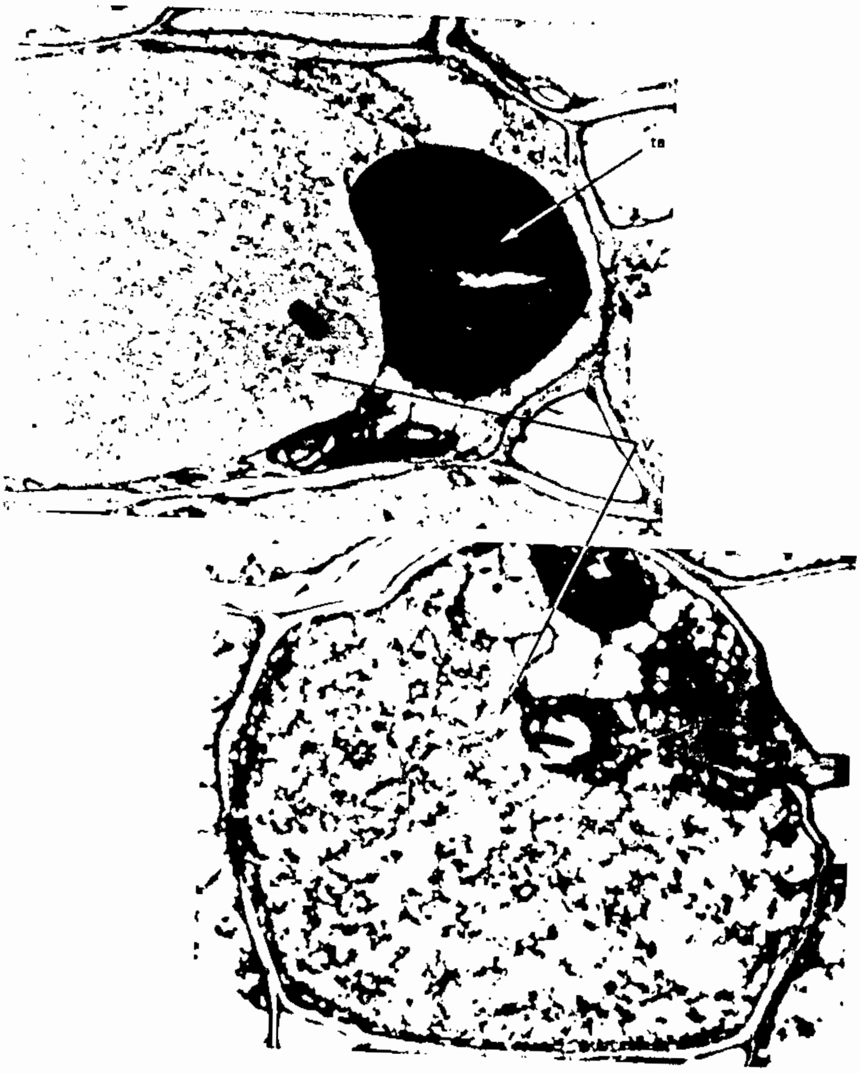
لكى يسهل تخللها أنسجة أو خلايا النبات وقد أوضحت التجربة أن بعض خلايا نسيج اللحاء والخشب الأولى لعنق ورقة المستحية تكون غير طبيعية مضطربة excitable . ترتبط هذه الخلايا المضطربة ببعضها بواسطة شرائط البلاذموديزماتا حيث ينتقل عن طريق هذه الشرائط الإشارة الكهربائية تعتبر الإشارة الكهربائية المتزايدة هى فعل الجهد أى action potential ويمكن أن تسمى بذلك وهى تشابه action

potential في خلايا الجهاز العصبى أو أنسجة الأعصاب في الحيوانات مع وجود فرق واحد هام هو عدم وجود مركب كيماوى ناقل. حيث أن مركب أستيل كولين acetylcholine والذى له دور في عملية التنشيط من خلية إلى أخرى في الجهاز العصبى في الإنسان والحيوان يكون موجود في بعض النباتات ولكنه ليس له علاقة بعمليه نقل الإشارة الكهربائية في النبات. أى أن أستيل كولين وأنزيم أستيل كولين أستيريز لهما دور في نقل الأحساس في خلايا أعصاب الأنسان والحيوان إلا أنه في حالة وجودهما في النبات لا يكون لهما أى دور في ذلك.

تنشيط عنق ورقة المستحية باللمس الرقيق أو بسقوط قطرة مائية عليها فإن الإحساس بالإنكماش والإستحياء يكون في الورقة المتأثرة فقط دون الأوراق الأخرى ولكن عند حدوث التنشيط بواسطة الجروح أو الإحتراق burning فإن الأوراق الأخرى تتأثر وتنكمش. أى أن تأثير الإحتراق أو الجروح أكبر بكثير من تأثير اللمس الرقيق وقطرة الماء. يسمى التأثير في الحالة الأولى action potential ويسمى التأثير في الحالة الثانية variation potential بالإضافة إلى وجود action potential. يعتبر action potential إشارة كهربائية بينما الحالة الأخرى variation potential يمكن أن ينتقل التأثير بواسطة مركب كيماوى ينتقل خلال نسيج الخشب ويمر خلال عضو الحركة pulvinus وينتج action potential جديد على الجزء البعيد من عضو الحركة ثم يلى ذلك أن action potential الجديد يتحرك خلال الخلايا المضطربة excitable cells في نسيج اللحاء ونسيج الخشب وبالتحديد في جزء البروتوزيلم دون الميتازيلم حتى يصل إلى عضو حركة جديد ويظهر تأثيره وهو عبارة عن حدوث تغير في درجة إنتفاخ الخلايا المختلفة والتى ينتج عنها غلق الورقة أى إنكماشها وإستحيائها، وكلما كان تأثير المعاملة كبير كما في حالة الإحتراق فإن variation potential يتحرك خلال عضو الحركة وينشط تكوين action potential على الجانب الآخر البعيد من عضو الحركة. وهكذا فإن variation potential يسبب توحيد وتعاقب حركة إنكماش وإستحياء أوراق النبات المختلفة على النبات الواحد وذلك عن طريق توليد potential action تتحرك خلال أجزاء أو مناطق معينة من النسيج.

يتضح أن نبات المستحية يعتمد تماماً على التغيرات فى ضغط إنتفاخ الخلايا turgor changes لكى ينظم حركة أعضاؤه. وجد أن انخفاض حجم الخلايا أى إنكماشها فى بعض خلايا الحركة motor cells يكون مصحوب بإفراز أيون البوتاسيوم ومركبات شبه تانينيه tanninlike compounds من هذه الخلايا إلى المسافات البينية المحيطة بها. يعتقد أن هذه التغيرات تكون نتيجة الإشارة الكهربائية حيث أنها تسبب رشح الأغشية الخلوية membrane leakiness وقد أمكن إثبات حدوث هذه الإشارة الكهربائية بوسطة microelectrodes. ويوجد تشابه بين إنقباض العضلات فى الحيوانات نتيجة لإنقباض وإنبساط بروتينات معينة مثل actomyosin وبين إنقباض وإنكماش خلايا الحركة السابقة. ولذلك يعتقد أنه قد يوجد بروتين مشابه لبروتين actomyosin فى خلايا الحركة السابقة وقد يسبب رشح الأغشية وإنقباض أو إنكماش الخلايا كما فى خلايا عضلات الحيوان ولكن حتى الآن لا يوجد ما يثبت ذلك. ولذلك فإنه حتى الآن مجرد افتراض.

يعتقد أن لمركبات التانين tannins دور فى حركة المستحية. تسبب مركبات التانين الموجودة فى الخلايا تأثير ضار لبروتين الخلية denature proteins وأيضا تأثير ضار على الخلايا. وحيث أن هذه المركبات موجودة فى أكياس غشائية فى الفجوة العصارية فإنها تسبب ضرر للخلايا. وجد أن تجمعات التانينات تتجزأ وتتفتت إلى أجزاء صغيرة ومنتشرة فى الفجوة العصارية للخلية أثناء حركة الأوراق (شكل ٣٩) وذلك فى خلايا الحركة فى أعضاء الحركة وعلاوة على ذلك فإن هذه الخلايا تفرز كمية من التانينات خارجها. وتنتشر هذه التانينات المفرزة من خلايا الحركة عبر نسيج عضو الحركة حيث تنتشر على سطح وبشرة عضو الحركة عن طريق خروجها من الثغور المائية الموجودة على هذه الأجزاء. وحيث أن التانينات لها طعم مر لاذع astringent كما أنها تستعمل كمركبات طبيعية طاردة للحشرات natural insect repellents. كذلك فإن حركة أوراق المستحية تسبب إفراز التانينات وبذلك تساعد أيضا فى وقاية النبات من الحشرات والحيوانات آكلة الأعشاب.



(شكل ٣٩) : تنشيط خلية حركة في عضو الحركة الإبتدائي لنبات المستحية .

الصورة العلوية الخلية قبل التنشيط والصورة السفلية الخلية بعد التنشيط

v فجوة عصارية ta تانينات

يلاحظ كتلة التانينات وقد تجزأت إلي أجزاء بعد التنشيط كما تم إنتشار مواد إلكترونية electron dense material في الفجوة العصارية.

تصنيف حركات Nastic إلى تكرارية وغير تكرارية:

يحدث هذا النوع من الحركة نتيجة لتأثير معين. يحدد إتجاه الحركة التركيب التشريحي للأجزاء المتحركة وليست طبيعة وموقع المؤثر أى لا يظهر فى هذه الحالة إنتحاء سالب أو موجب بالنسبة لموقع المؤثر. يحدث تغيرات فى تركيب جدار خلايا الحركة قد تكون تغيرات عكسية elastic وقد تكون تغيرات غير عكسية plastic. تعتبر التغيرات الغير عكسية نمو ولا تعتبر حركة nastic والعكس صحيح فى التغيرات العكسية. يمكن تصنيف تغيرات الجدار العكسية تبعا لطبيعة المؤثر ونوع الحركة. ومثال ذلك حركة nyctinastic movements حيث أن الترجمة الحرفية لها فى اللغة اليونانية night closure أى تقفل ليلا ومثال ذلك حركة الأوراق إلى أسفل وقفل الوريقات على بعضها ثم إعتدالها إلى أعلى وفتح الوريقات نتيجة للتعاقب اليومى من ظلام وضوء. حيث أن الأوراق فى هذه الحالة تكون أفقية نهاراً وقائمة ليلاً. وحالة أخرى هى الحركات الفجائية فى الأوراق seismonastic movements وذلك نتيجة لمؤثر ميكانيكى ومثال ذلك نبات المستحية *Mimosa*. تعرف الحركات اللاإنتحائية على أنها حركات عكسية ويمكن تكرارها reversible and repeatable ومثال لذلك حركات الأوراق التى سبق وصفها وتغيير وضعها أثناء الليل والظلام. ولكن حالة one - shot أى حالة لا يمكن تكرارها لا تعتبر nastic movement مثال ذلك حالة إنتثار الجراثيم وإنتثار البذور وذلك بالرغم من أن هذه الحركات تنتج عن تغيرات مرنة elastic أى عكسية.

يوجد نوعين nastic movements وهى الحركات التكرارية oscillatory movements وهى حركات تحدث بإنتظام تكرارى كل زمن معين وقد يكون هذا الزمن يوم أو أقل وقد يصل بضع دقائق .

والنوع الثانى من هذه الحركات هو الحركات الغير تكرارية single event movements وفى هذا النوع من الحركات يحدث حركة سريعة يعقبها حركة شفاء recovery movement تكون بطيئة. تحدث الحركة السريعة فى مدى حوالى بضع

دقائق إلى فترة قصيرة جداً عبارة عن قليل من الملى ثانية few milliseconds. توجد بعض النباتات تظهر النوعين من هذه الحركات مثل المستحية *Mimosa* وستيليديم *Stylidium*.

تعتبر حركة فتح وقفل الثغور من حركات nastic وتعتبر الخليتين المساعدتين خلايا حركة motor cells حيث أنهما يكبران فى الحجم نتيجة لزيادة الضغط الإسموزى وينكمشان فى الحجم نتيجة لإنخفاض الضغط الإسموزى. وعامة تتأثر خلايا الحركة motor cell فى هذا النوع من الحركات nastic movement بالإختلاف فى الضغط الأسموزى أى أن حركة خلايا الحركه متعلقة بالضغط الأسموزى وضغط الإنتفاخ.

اولا: الحركات التكرارية Oscillatory movements

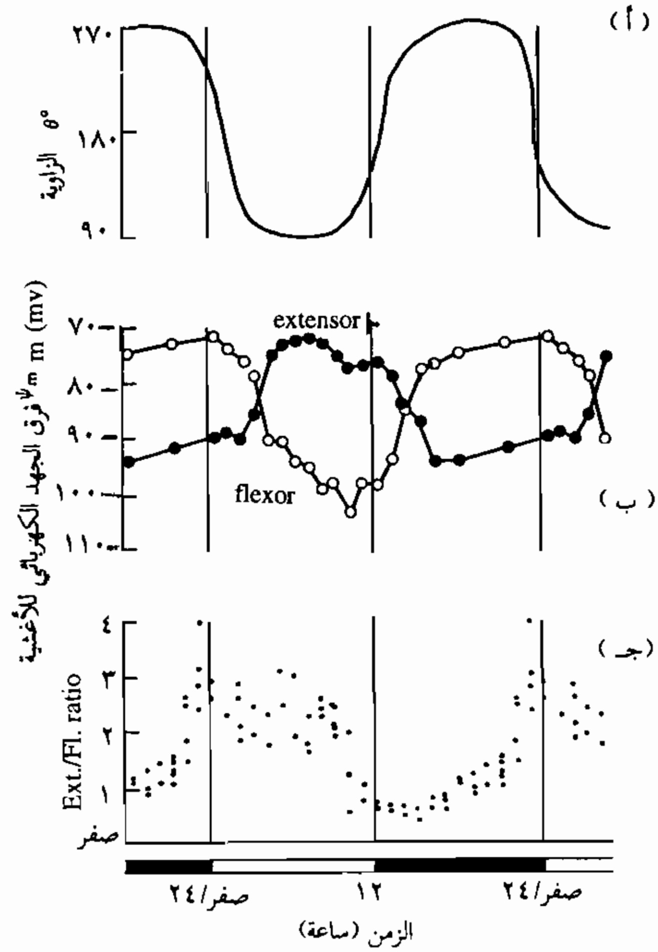
١ ـ البرسيم الأبيض (White clover) *Trifolium repens*

تتكون ورقة البرسيم من ثلاث وريقات وهى وريقة طرفية وورقتين جانبيتين وتتصل هذه الثلاث وريقات بعنق الورقة بواسطة عضو حركة pulvinus لكل منها. تظهر هذه الثلاث وريقات حركة نوم أى ضم للوريقات أثناء الليل وتنفرج الوريقات أثناء النهار. تظهر أيضا الأوراق هذه الحركة من ضم وإنفراج فى الليل المستمر والنهار المستمر دون إحتياج لتتابع ضوء وظلام. حيث أنه فى الحالة الأخيرة تحدث حركة الوريقات دون تأثير واضح حيث أنها لا تحدث نتيجة لتعاقب النهار والليل وحيث أن الحركة من ضم وإنفراج للوريقات يحدث فى تتابع كل ٢٤ ساعة تقريباً أى يومى فتسمى هذه الحالة circadian rhythm أو circadian endogenous rhythm حيث أنها حالة تتابع منتظم لحالة معينة غير معروف المؤثر فى هذه الحالة وحيث أن التتابع يحدث يومياً فتسمى circadian.

تم دراسة حركة الوريقة الطرفية للبرسيم كل يوم ومنها ١٢ ساعة ضوء و١٢ ساعة ظلام وقد وجد أنها حركة تكرارية كل فترة معينة (شكل ٤٠). حركة

الوريقات فى البرسيم الأبيض غير متأثرة بالفيتوكروم على العكس مـــن حركة الوريقات فـــى المستحية *Mimosa* و *Samanea* و *Albizzia* كما أن حركة عضو الحركة فى البرسيم الأبيض تكون نتيجة حركة إنحناء bending motion فى عضو الحركة نتيجة لحدوث إنتفاخ. ثم إنكماش فى خلايا الحركة extensor كل فترة معينة periodic وأيضا حدوث إنكماش ثم إنتفاخ ولكن بدرجة أقل فى خلايا الحركة flexor. أى أن هذه التغيرات تحدث فى كل من خلايا extensor و flexor ولكنها تكون بدرجة أكثر وضوحاً فى خلايا extensor عنها فى خلايا flexor. تحدث التغيرات فى حجم الخلايا السابقة نتيجة للتغير فى الضغط الإسموزى نتيجة لوجود كاتيون البوتاسيوم وبعض الأنيونات الغير معروفه بالضبط حتى الآن. عند إنفتاح الوريقة يصبح تركيز كاتيون البوتاسيوم فى خلايا الحركة extensor هو ١٣٨ ملليمول لكل كيلوجرام وزن رطب بينما يكون تركيزه فى خلايا الحركة flexor هو ١١٤ ملليمول لكل كيلو جرام وزن رطب. عند قفل الوريقة يصبح تركيز كاتيون البوتاسيوم فى خلايا extensor هو ٧٧ ملليمول لكل كيلو جرام وزن رطب بينما يصبح تركيزه فى خلايا flexor هو ١٣٧ ملليمول لكل كيلو جرام وزن رطب.

يتضح من ذلك أنه توجد حركة مستمرة لأيون البوتاسيوم من وإلى خلايا الحركة عند فتح وغلق الوريقات. يكون التركيز الكلى لأيون البوتاسيوم فى عضو الحركة أعلى فى حالة فتح الوريقات عنه فى حالة غلق الوريقات ولذلك يتضح أنه توجد حركة متبادلة لأيون البوتاسيوم بين خلايا عضو الحركة والأنسجة الملاصقة لها. أمكن بإستخدام بوتاسيوم مشع (K^{24}) توضيح سرعة إنتقال أيون البوتاسيوم إلى كل من خلايا extensor و flexor فى أزمنة مختلفة أثناء فتح وغلق الأوراق. وجد أن النسبة بين أيونات البوتاسيوم النافذة أى الداخلة إلى داخل خلايا extensor و flexor توضح حالة تكرارية أثناء الليل والنهار (شكل ٤١ حـ). كما يلاحظ أيضا أن قمه وقاعدة المنحنى تسبق فترة منتصف النهار والليل وتتلازم تماما مع منتصف الزمن اللازم لفتح وغلق الأوراق تماما (شكل ٤١ أ).

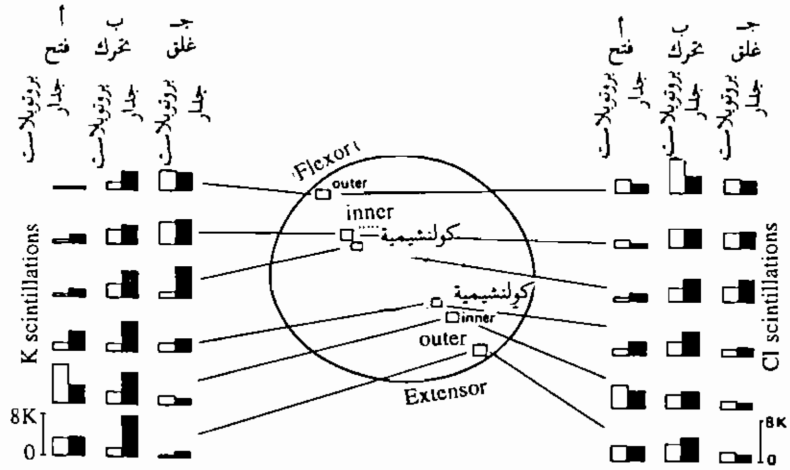


(شكل ٤٠) : قياسات لحركة عضو الحركة فى نبات *Trifolium repens*

أ ـ زاوية الإنفتاح للورقه الطرفية ـ حيث أن الزاوية تكون كبيرة عند نوم أو غلق الورقة.

ب ـ فرق الجهد الكهربائى لأغشية خلايا extensor وخلايا flexor فى خلايا الحركة cells motor.

جـ ـ النسبة بين دخول أيون البوتاسيوم إلى خلايا extensor (Ext) ودخوله إلى خلايا flexor (Fl) تعريف خلايا extensor أنها الخلايا فى عضو الحركة والتى يزيد فيها ضغط الانتفاخ عندما تفتح الوريقة.



(شكل ٤١) : توزيع أيون البوتاسيوم K^+ وأنيون الكلور Cl^- والذى تم قياسه بواسطة electron probe X ray analysis فى عضو الحركة الثانوى لنبات *Samanea* .

أ- عند فتح الوريقات فى الضوء ويحدث تمدد لخلايا extensor.

ب – عند غلق الوريقات نتيجة لنقلها إلى الظلام.

جـ – غلق الوريقات تماما فى الظلام.

المقياس هو عدد scintillations عند قياسها بواسطة x - ray detector فى ١٥٠ ثانية.

عند إيجاد العلاقة بين تكرارية نفاذية أيون البوتاسيوم إلى داخل خلايا extensors وflexors وأيضا تكرارية فرق الجهد للغشاء البلازمىpotential difference membrane (p.d) وجد أن تكرارية فرق الجهد (p.d.) تعتبر endogenous circadian أى تكرارها مستقل عن الضوء والليل أى أنه ليس للضوء أو الظلام أى تأثير على هذه الحالة (شكل١ ٤ب). وجد أن p.d الغشاء تكون قيمه سالبة دائما فى خلايا extensor و flexor عندما تكون هذه الخلايا فى حالة إنتفاخ ولكن تتغير هذه القيمة وتصبح سالبة ولكن بدرجة أقل مما سبق عندما يتغير p.d. الغشاء بسرعة. وتحدث هذه الحالة من التغير فى سالبية p.d. الغشاء وحيث تسبق حالة الانكماش التام للخلايا بتسع ساعات. وتستمر حالة القيمة السالبة القليلة فى p.d. الغشاء أثناء فقد- الخلايا لأيونات البوتاسيوم والماء ثم مرة أخرى تزداد القيمة السالبة أى تصبح

سالبة بدرجة كبيرة وتسبق هذه الحالة حالة الإنتفاخ للخلايا بتسع ساعات أيضاً. وحيث أن فترة rhythm تكون عادة يوم كامل أى أربعة عشرون ساعة فإنه يوجد إختلاف فى فترات قيم p.d. الغشاء ونفاذية أيون البوتاسيوم إلى داخل الخلايا ودورة النهار والليل والضغط البخارى للماء θ.

تكرارية فتح وغلق الأوراق تعكس مباشرة تكرارية التغير فى حجم خلايا الحركة وهذه تسبق التغير فى النهار والليل بثلاث ساعات، بينما تكرارية التغير فى دخول وخروج أيونات البوتاسيوم للخلايا تسبق التغير فى p.d الغشاء لخلايا extensor بستة ساعات. يتضح مما سبق أنه لا يوجد حتى الآن دليل يوضح ماهو السبب فى حدوث تكرارية p.d. الغشاء، ولكن إنتفاخ خلايا الحركة يحتاج إلى طاقة لكى تحدث عملية النقل النشط ونتيجة لذلك يتغير حجم الخلايا وتستمد الخلايا الطاقة الناتجة من التحول الغذائى.

ثانيا : الحركات غير التكرارية Single - event movements:

توجد الحركات غير التكرارية فى بعض النباتات منها المستحية *Mimosa pudica* وبعض النباتات الآكلة للحشرات مثل الدروسيرا *Drosera* والديونيا *Dionaea* وألدروفاندا *Aldrovanda*.

١ ـ نباتات الدروسيرا *Drosera* والديونيا *Dionaea* والدروفاندا *Aldrovanda* فى نبات الدروسيرا يوجد للأوراق زوائد غدية تشبه الشعيرات عديدة الخلايا تسمى *tentacles* يوجد فى قمة كل زائدة غديه *tentacle* قطرة من سائل لزج عند هبوط الحشرة على الورقة وعند اصطدامها بأحد الزوائد الغدية فإنها تلتصق بالزائدة الغديه وعند محاولة تحررها من الزائدة الغدية فإنها تنشط الزائدة الغدية وتبدأ فى الإنحناء. يبدأ إنحناء الزائدة الغدية بعد تنشيط الزائدة الغدية ببضع ثوان ويتم إنحناء الزائدة الغدية تماماً بعد ثلاث دقائق. تتوقف استجابة الزائدة الغدية على موقعها على الورقة. عند ملامسة الحشرة للزوائد الغدية الخارجية فإن الزوائد تنحنى بسرعة للداخل ويحدث الإنحناء عند قاعدة الزائدة الغدية وبذلك تحمل الحشره إلى وسط الورقة. يعقب ذلك

إنحناء زوائد غدية أخرى ببطء نحو الحشرة ويكون نتيجة ذلك أن تحاط الحشرة بكمية كبيرة من الزوائد الغدية. يحدث هضم للحشرة ثم إمتصاص نواتج الهضم بواسطة الزوائد الغدية ويحدث ذلك فى مدى عدة أيام. إذا تمكنت الحشرة من الهروب فإن الزاوئد الغدية تعتدل وتستقيم مرة أخرى بعد عدة ساعات. وجد أن الدرجة المثلى potential difference (p.d.) لخلايا ساق الزائدة الغدية تتراوح بين ـ٢٠ إلى ـ٨٠ مللى فولت كما وجد أن التنشيط الميكانيكى نتيجة لوجود الحشرة يتبعه حالة جهد الفعل أو جهد التأثير action potential وهذا الجهد تتراوح مدته بين ١٠ إلى ٣٠ ثانية. وجد أن المعاملة بتيار كهربائى لا تسبب إنحناء الزائدة الغدية. وجد أن action potential فى رأس الزائدة الغدية يتم إنتشاره خلال الزائدة حتى يصل إلى خلايا القاعدة وينتج عن ذلك إنحناء الزائدة الغدية.

وفى حالة نبات الديونيا يحدث فى الورقة تحور وتصبح مكونة من فصين منبسطين ويوجد بينهما العرق الوسطى مع وجود زوائد على حافة الفصين كما يوجد أيضا على السطح الداخلى لكل فص غدد إفرازية وثلاث شعرات حساسة. عندما تلامس الحشرة شعره أو أكثر من الشعرات الحساسة فإن الفصين يقفلان على بعضهما فى أقل من الثانية. تسبب ملامسة الحشرة للشعرة الحساسة إنحنائها. ويعقب ذلك قفل الفصين على بعضهما ثم يزداد غلق وإحكام الفصين على الحشرة وتصبح أسيرة بين الفصين وينتج عن ذلك ضغط الحشرة وسحقها نسبيا squeezing ثم تفرز أنزيمات هاضمة وأحماض من الغدد الموجودة على السطح الداخلى من الفصين. تمتص نواتج هضم الحشرة بواسطة الورقة والنبات وبعد حوالى أسبوعين يفتح المصراعين. إذا تمكنت الحشرة من الفرار أثناء قفل المصراعين فإنهما لا يقفلان بشدة ويفتح المصراعين بعد حوالى يوم. أى أن وجود الحشرة أسيرة بين المصراعين يزيد من أحكام غلق المصراعين. وجد أن التنشيط الميكانيكى للشعرات الحساسة نتيجة لوجود الحشرة يعقبه ظهور جهد الفعل أو جهد التأثير action potentials والذى ينتشر فى خلايا الفصين. جهد الفعل يسبق دائما غلق الفصين وجد أن إنحناء الشعره المؤنثة نتيجة لوجود الحشرة ينتج عنه جهد إستقبال receptor potential

فى خلايا حساسة لها تركيب تشريحى خاص وهذه الخلايا الحساسة موجودة فى منطقة خاصة بالقرب من قاعدة الشعره . يتكون جهد الإستقبال من نوعين وهما إنتقالى سالب transient - negative وإنتقالى موجب transient - positive. يتحكم نوع التأثير الميكانيكى ومدته فى نوع جهد الإستقبال سالب أو موجب. يحدث الجهد الإنتقالى السالب فى حالة الإحتكاك السريع للشعرة الحساسة بينما يحدث الجهد الإنتقالى الموجب فى حالة الاحتكاك البطيء للشعره الحساسه. وجد أن الجهد الإنتقالى السالب قليلاً ما يسبب حالة جهد الفعل أو جهد التأثير action potential. بينما الجهد الإنتقالى الموجب وعندما يصل درجة معينة reaches a threshold value يسبب نشوء جهد الفعل أو التأثير. عندما ينشأ جهد التأثير فى الخلايا الحساسة يحدث لها إنتشار فى خلايا الفص لمدة ثانية واحدة وبقيمة حوالى مائة مللى فولت وبسرعة إنتشار مائة ملليمتر لكل ثانية.

يشبه نبات ألدروفاندا نبات الديونيا فى تركيبة. سمك كل فص من الورقة ثلاث خلايا فى المركز وخليتين فى الحواف. يوجد حوالى عشرون شعره حساسة على السطح الداخلى للفص. جميع خلايا الفص حساسة للتأثير الكهربائى أو نتيجة لحركة الشعره الحساسه. أمكن إثبات وجود جهد إستقبال فى خلايا الفص القريبة من قاعدة الشعرة الحساسه. وجد أن سرعة إنتشار جهد الفعل أو التأثير هو ٧٤ ملليمتر لكل ثانية.

٢ ـ نبات المستحية ***Mimosa Pudica***: يمكن تصنيف المؤثرات على نبات المستحية إلى نوعين وهما المؤثرات التى لا تسبب ضرر طبيعى للنبات مثل اللمس والإحتكاك والتى تسبب ضرر طبيعى مثل الجروح والحروق وضرر الحشرات القارضة للنبات. يمكن تصنيف المؤثرات التى لا تسبب ضرر للنبات إلى تأثير ميكانيكى مثل اللمس والإحتكاك وتأثير كهربائى أو حرارى أو كيماوى.

أقترح Ricca قديماً عام ١٩١٦ أن إنتشار تأثير الجروح على أوراق النبات نتيجة لتكوين مركب ينتشر فى النبات عن طريق تيار النتح ويسبب تأثير فى أعضاء الحركة

يسبب غلق الأوراق. ولكن أتضح حديثا خطأ ذلك حيث أن سرعة إنتقال التأثير الناتج عن الجروح إلى عضو الحركة الأولى والثانوى يتجه أولا إلى أسفل ويكون بسرعة ٤ ملليمتر فى الثانية ثم يحدث بعد ذلك التأثير إلى أعلى وإلى بقية أجزاء النبات. أى أن عملية التأثير أى التنشيط تنتقل إلى أسفل أولا ثم إلى أعلى. حيث أن تيار النتح ينتقل إلى أعلى فقط وحيث أن المؤثر ينتقل إلى أعلى وإلى أسفل فإن ذلك دليل على أن المؤثر لا ينتقل عن طريق تيار النتح. وإذا أفترضنا أن المؤثر ينتقل عن طريق الإنتشار فإن سرعة الإنتشار بطيئة جداً لا تفسر التأثير السريع لهذه الحالة. وإذا أفترضنا أن إنتشار المركب الناتج عن الجروح فى اللحاء فإن سرعة الإنتشار فى اللحاء تتراوح بين ١٦ إلى ٣٠ ملليمتر لكل دقيقة أى أبطء كثيرا من سرعة إنتشار التأثير وحركة الأوراق والوريقات. أى أن إفتراض Ricca بتكوين مركبات نتيجة للجروح وأن هذه المركبات تنتشر فى تيار النتح وتسبب التأثير خاطئ تماما وتحتاج هذه الحالة إلى تفسير آخر. وغير معروف حتى الآن تفسير واضح سليم لذلك.

حركة عضو الحركة الأولى primary pulvinus سريعة وتسبب تدلى سريع للورقة فى زمن يتراوح بين ثانية إلى ثانيتين ثم يحدث مرة أخرى إعتدال فى وضع الورقة بعد زمن معين ويكون هذا الإعتدال فى وضع الورقة بطيئ وفى بعض الحالات يستغرق زمن قدره ١٠ إلى ١٥ دقيقة. يسبق الحركة السريعة للورقة نشوء وتكوين جهد الفعل فى أنسجة عضو الحركة أى أن الحركة تالية بعد حدوث جهد الفعل فى خلايا عضو الحركة. توجد الخلايا الحساسة السريعة الأستجابة للتأثير وتسمى excitable cells فى كل من منطقة flexor ومنطقة extensor فى عضو الحركة. ولكن توجد أدلة على أن منطقة extensor هى المسئولة عن الحركة دون منطقة flexor. وحيث أن الخلايا الحساسة السريعة الإستجابة للتأثير توجد فى منطقة extensor فإن جهد الفعل يوجد فقط فى خلايا هذه المنطقة التى تتغير خلاياها فى الحجم دون الخلايا الأخرى أى فى الخلايا الحساسة.

ينتشر أيون البوتاسيوم خارج خلايا الحركة motor cells فى عضو الحركة الأبتدائى أثناء الحركة السريعة وقد أمكن إثبات ذلك بإستخدام بوتاسيوم مشع k^{24}.

ينتشر جهد الفعل من منطقة التنشيط فى عنق الورقة إلى خلايا الحركة وبذلك يظهر جهد الفعل فى خلايا الحركة ويحدث ذلك فى أقل من الثانية وفى هذه الأثناء فإن جهد الغشاء البلازمى membrane potential يتغير من ـ ٢٠٠ ملليفولت (200- mV) إلى ـ ٥٠ مللى فولت (50 mV-). يصاحب جهد الفعل وبتأخير سبعون مللى ثانيه (7o ms) زيادة فى درجة التوصيل الكهربائى فى النسيج يوضح ذلك زيادة تركيز أيون الكلور خارج الخلايا. تبدأ حركة عضو الحركة بعد مائتين مللى ثانيه (2oo ms) من بداية فعل الجهد وتكتمل الحركة تماما فى مدى دقيقتين. وجد أيضاً أن سرعة خروج أيون الكلور Cl^- من خلايا extensor أكبر بكثير من خروجه من خلايا flexor وقد أستنتج Samejima and Sibaoka عام ١٩٨٢ أن خلايا flexor تتأثر بهذه التغيرات excitable ولكن لها دور قليل فى هذه الحركة. وجد أن الحركة السريعة الإبتدائية initial fast movement ينتج عنها إنطلاق جهد الطاقة energy potential المختزن فى الجدر المطاطه لخلايا الحركة. أما عن سرعة إرتداد الورقة إلى وضعها الطبيعى فإنه يستغرق عادة من عشرة إلى ١٥ دقيقة وحيث يحتاج ذلك إلى طاقة وهذه الطاقة تظهرها خلايا الحركة وتكون هى المسئولة عن إرتداد الورقة إلى وضعها الطبيعى. إتضح أن عملية إرتداد الورقة إلى وضعها الطبيعى تحدث بسرعة أكبر فى الضوء عنه فى الظلام حيث أنها تحتاج إلى الضوء كمصدر للطاقة اللازمة ولكن فى حالة الظلام فإنها تستمد الطاقة من عملية التنفس.

٣ ـ أوراق نباتات *Mimosa* و *Samanea* و *Albizzia*: تعتبر حركة nyctinastic فى أوراق هذه النباتات معقدة . تعتبر أوراق هذه النباتات أوراق مركبة ريشية متضاعفة حيث أن عضو الحركة الأبتدائى primary pulvinus يصل عنق الورقة بالساق وعضو الحركة الثانوى secondary pulvinus يصل الريشة pinna بمحور الورقة الرئيسى rachis وعضو الحركة الثالثى tertiary pulvinus يصل الرويشة pinnule بمحور الرويشة rachilla. تفتح الأوراق فى الضوء نتيجة لحركة ميل أو إلتواء bending movement فى عضو الحركة الثانوى والثالثى. فى جميع النباتات السابقة فى أثناء فتح الأوراق تبتعد الريشة عن محورالورقة الرئيسى وأيضاً تبتعد الرويشات عن محور

الريشة. وفى أثناء الظلام تنحنى الريشات إلى أسفل فى إتجاه قاعدة الورقة وذلك فى حالة *Samanea* بينما تنحنى ريشات النباتين الآخيرين فى إتجاه عكسى. تنحنى الرويشات فى جميع النباتات السابقة فى إتجاه عكسى.

تبدأ تفتح أوراق جميع النباتات السابقة فى نهاية فترة الظلام وتبدأ فى النوم أى فى قفل الأوراق قبل نهاية فترة الضوء.

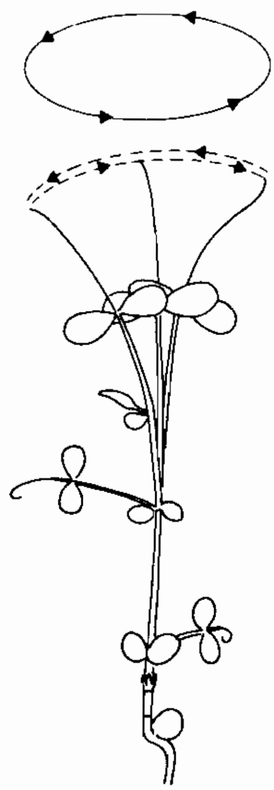
يكون عضو الحركة فى النباتات *Albizzia* و *Samanea* و *Mimosa* أسطوانى الشكل عادة ويوجد فى مركزه جزء عباره عن نسيج خشب ولحاء central vascular core ويحاط هذا الجزء المركزى بخلايا بارنشيمية عبارة عن القشرة. توجد خلايا الحركة motor cells فى الجزء الخارجى من القشرة. تحدث حركة عضو الحركة الثانوى والثالثى secondary and tertiary pulvini فى أوراق هذه النباتات نتيجة لإنتفاخ وإنكماش خلايا الحركة فى منطقتين من عضو الحركة هما extensor و flexor. تحدث هذه الحركة نتيجة للتغير فى ضغط الإنتفاخ الناتج عن الأسموزية. يعتبر العامل الرئيسى فى الأسموزية فى هذه الحالة هو أيون موجب عبارة عن أيون البوتاسيوم K^+ وأيون سالب عادة يكون أيون الكلور Cl^- وليست دائماً. وجد فى حالة عضو الحركة الثانوى لنبات *Samanea* أن الحركة مرتبطة تماماً بإنتقال أيون البوتاسيوم K^+ والكلور Cl^- بين منطقتى extensor و flexor (شكل ١ ٤١). يكون طريق الإنتقال الرئيسى لهذه الأيونات بين منطقتى extensor و flexor هو apoplast وليست symplast. حيث أنه وجد فى الظلام وفى أثناء قفل أى نوم الأوراق زيادة فى تركيز أيون البوتاسيوم فى جدر الخلايا بالنسبة لتركيزه ببروتوبلاست الخلايا فى خلايا منطقة extensor وإنخفاض هذه النسبة فى حالة خلايا منطقة flexor أى أن النسبة مرتفعة فى الحالة الأولى ومنخفضة فى الحالة الثانية (شكل ١ ٤١). وحيث أنه يوجد فى خلايا عضو الحركة صبغات نباتية تمتص الضوء الأزرق blue light absorbing pigment وحيث أن للضوء تأثير على حالة الفيتوكروم فإنه أمكن إثبات أن الضوء الأزرق والضوء العادى لهما تأثير فعال على عضو الحركة وبالتالى تأثير هام على حركة الأوراق.

توضح حركة أوراق المستحية حقيقة هامة وهى أن حركات الإنتحاء و nastic فى النباتات المختلفة تحدث نتيجة لمؤثر معين stimulus. وفى جميع هذه الحالات يمكن تمييز الجزء النباتى الخاضع للتأثير إلى ثلاث مناطق. تعتبر المنطقة الأولى منطقة الإستقبال perceptive region وهى المنطقة التى تستقبل المؤثر وهى الرويشات فى حالة المستحية والمنطقة الثانية هى منطقة التوصيل conduction region وهى المنطقة التى ينتقل عن طريقها المؤثر كما أنه ينتقل فيها وهو عبارة عن محور الورقة rachis ومحور الوريقات rachilla فى المستحية و *Samanea* والمنطقة الثالثة هى منطقة الإستجابة responsive region وهى المنطقة التى تتأثر بفعل المؤثر وتترجم هذا الفعل إلى حركة وهى عضو الحركة pulvinus فى المستحية و *Samanea*. يمكن تطبيق ذلك فى الإنتحاء الأرضى حيث أن الجزء المستقبل لتأثير الجاذبية الأرضية أى منطقة الإستقبال هو القلنسوه ثم ينتقل هذا الأثر عبر منطقة التوصيل وهى القمة النامية للجذر ثم ينتقل إلى منطقة الإستجابة للمؤثر وهى منطقة الإستطالة فى الجذر.

ثانيا : الحركة التلقائية Autonomic Movement

وهى الحركة التى تتم ذاتياً بالنبات دون فعل مؤثر خارجى واضح وهى حالات عديدة منها مايأتى:

١ ـ الدوران أثناء النمو Nutation: أثناء نمو السيقان إلى أعلى يأخذ الجزء القمى منها حركة دائرية أى أن نمو الجزء الطرفى من الساق لا يكون رأسى وتسمى هذه الحالة فى السيقان circumnutation. تحدث هذه الحالة أيضاً فى الجذور والسيقان المدادة وأعناق الأزهار وفى الطحالب الخيطية وفى حوامل الأكياس الجرثومية فى الفطريات ولكنها عادة تكون بدرجة أقل. تلاحظ حدوث هذه الحالة عند بداية خروج الجذور من البذرة وتستمر مع نمو الجذير والجذور وبدراسة هذه الظاهرة فى المحاليق إتضح أن سرعة الحركة الدائرية لقمة المحلاق هى ١,٥٧ ملليمتر لكل دقيقة وتحتاج لعمل دائرة كاملة ثلاثون دقيقة (شكل ٤٢) وذلك فى حالة محلاق البسلة.



(شكل ٤٢) : نمو محلاق البسلة فى حركة حلزونية.

وجد أن إتجاه الدائرة يكون فى إتجاه عقرب الساعة أو فى عكس إتجاه عقرب الساعة تبعاً لنوع النبات حيث أن جميع نباتات النوع الواحد ذات إتجاه ثابت. وقاعدة عامة فإن جميع نباتات العائلة الواحدة يكون لها إتجاه واحد مع وجود بعض الإستثناءات.

وجد أن قطر الدائرة يختلف بإختلاف النبات وعامة يكون القطر أكبر فى النباتات الملتفة twining plantsعنه فى النباتات غير الملتفة وجد أن قطر الدائرة فى أحد نباتات العائلة العشارية *asclepiadaceae* حوالى ١,٦ متر وهو نبات *Ceropegia gardnerii* بينما وجد أن قطر الدائرة فى أحد نباتات الصبار هو ١,٣ ملليمتر وهو

نبات *Cereus speciocissimus*. تختلف سرعة الحركة بإختلاف النبات كما فى جدول رقم ١ .

(جدول ١) : الزمن اللازم لعمل دائرة واحدة فى نباتات مختلفة

النبات	الزمن (ساعة)
Lygodium scandens	٦
Ruscus androgynus	٣
Tamus communis	٣
Lapagera rosea	١٤
Roxburghia viridifolia	٢٤
Humulus lupulus	٢
Wistaria chinensi	٣
الفاصوليا	٢
Jasminum pauciflorum	٧

يختلف طول الجزء من الساق الداخل فى عمل الدائرة بإختلاف النبات. يعتبر هذا الجزء قصير فى البادرات حوالى ١ سم ويزيد عن ذلك فى النبات العادى وقد يكون الجزء طويل ويشمل عدة سلاميات ومثال ذلك نبات *Hoya carnosa* حيث أن طول هذا الجزء من الساق ٨١ سم ويشمل سبعة سلاميات.

وجد أن نقص تركيز الجبريللين يقلل من هذه الحركة أو يوقفها تماماً.

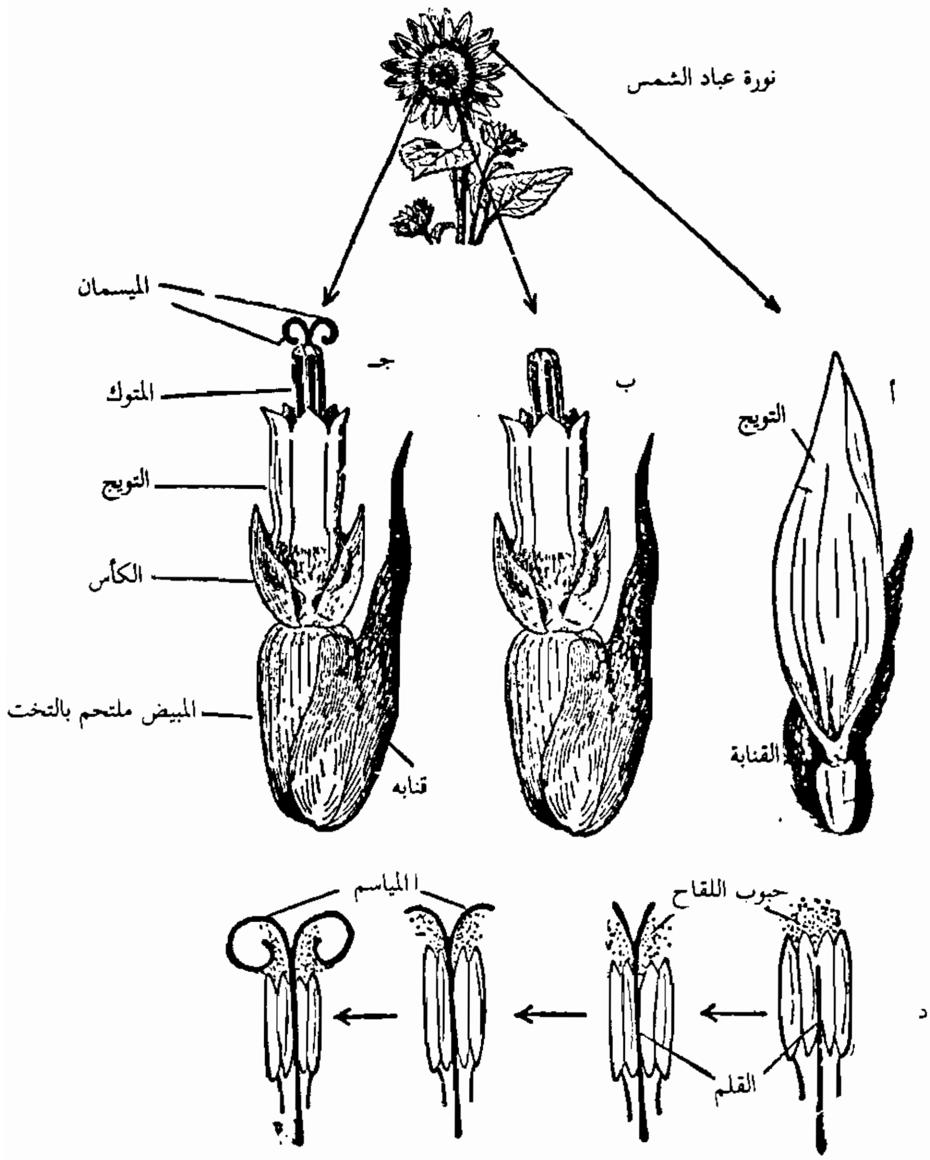
عند تنمية النباتات فى الظلام فإنها تصبح شاحبة etiolated ولم يؤثر ذلك على هذه الحركة حيث أن الحركة ثابتة من حيث القطر والسرعة فى النبات العادى والنبات الشاحب فى كثير من الحالات. تعتبر هذه الحركة من حركات النمو.

٢ ـ حركة فصلية Ephemeral Movement : وهى عبارة عن حركة تحدث مرة واحدة فى عمر العضو أو الجزء النباتى ولذلك سميت فصليه، يوجد أمثلة كثيرة لذلك منها حركة المياسم أو القلم أو الأسدية لإتمام عملية التلقيح ومثال ذلك فى كثير من أزهار العائلة المركبة ومنها عباد الشمس حيث ينفرج الميسمان وينفصلان عن بعضهما للإستعداد لعملية التلقيح حيث أن السطح العلوى للميسم هو الحساس والمستقبل أساساً لحبوب اللقاح (شكل ٤٣). تعتبر أيضاً هذه الحالات حركات نمو.

٣ ـ كبر أو صغر الزاوية Epinasty and Hyponasty : وهى الزاوية المحصورة بين عنق الورقة والساق وعندما يكون السطح العلوى للعنق محدب تسمى epinasty وعندما يكون السطح السفلى للعنق محدب تسمى hyponasty. يمكن تطبيق ذلك أيضاً على الفروع الجانبية للنبات أو محور فروع النورة أو أعناق الأزهار. حيث أن الأوراق على الساق وتبعاً لنوع النبات وعمره تكون فى الوضع hyponasty أوepinasty تعتبر أيضاً هذه أحدى حركات النمو حيث أن التقعير لأعلى أو لأسفل هو نتيجة لإختلاف سرعة نمو جزئى العنق السفلى والعلوى.

ففى حالة epinasty تكون سرعة نمو الجزء العلوى من العنق فى منطقة التحدب أسرع من الجزء السفلى والعكس صحيح فى حالة hyponasty .

ومن أمثلة ذلك أوراق نبات عباد الشمس حيث أن عنق ونصل الورقة يختلفان فى وضعيهما بالنسبة للساق أثناء مراحل النمو والبلوغ والشيخوخة حيث أن الورقة الصغيرة تكون فى حالة hyponasty بينما تكون الورقة فى حالة الشيخوخة فى حالة epinasty.



(شكل ٤٣) : نورة عباد الشمس

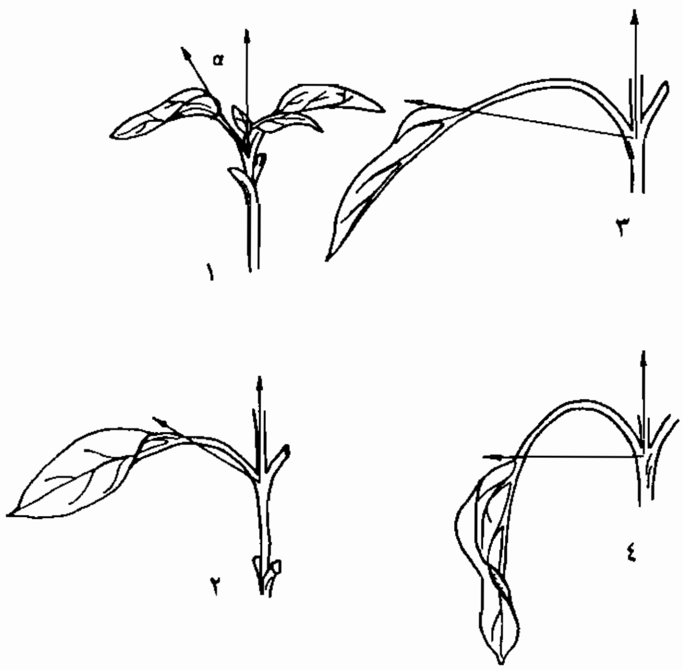
(أ) زهرة شريطية.

(ب) زهرة أنبوبية لم ينضج متاعها بعد.

(جـ) زهرة أنبوبية نضج متاعها.

(د) رسم تخطيطي يبين خطوات نمو القلم والميسمين في الزهرة الأنبوبية لكي يتم التلقيح.

(شكل ٤٤). كثير من أوراق النباتات تختلف في وضعها بالنسبة للساق في مراحل النمو المختلفة تلقائياً دون مؤثر واضح.



(**شكل ٤٤**): تغيير فى اتجاه أوراق عباد الشمس أثناء نمو الأوراق.

١ ـ ورقة صغيرة تتكشف من البرعم.

٢ ـ ورقة أثناء النمو السريع لها.

٣ ـ ورقة كاملة النمو بالغة.

٤ ـ ورقة قرب الشيخوخة (لاحظ إختلاف زاوية التوجية orientation angle فى الحالات المختلفة).

الحـركـه الهيجـروسكـوبيـة

Hygroscopic Movements

تحدث هذه الحركة فى الأجزاء الميتة للنبات نتيجة لتشرب الماء وتسمى hydrocasy أو نتيجة لفقد الماء وتسمى xerocasy. ومن أمثلة ذلك حركة الأسنان البيريستومية peristome فى علبة الحزازيات القائمة ومثال ذلك الفيوناريا. حيث أن

هذه الأسنان هيجروسكوبية فى الفيوناريا. عند تشرب الأسنان الماء فإنها تنثنى للداخل وتصبح مسطحة أفقية ولذلك تسبب غلق العلبة أى الحوصلة وبذلك تمنع إنتشار الجراثيم من العلبة وفى حالات الجفاف فإن الأسنان تنحنى للخارج أو تنكمش أو كلاهما وبذلك تصبح العلبة مفتوحة وتنشر الجراثيم الموجودة بداخلها.

يحدث نفس الشيء فى حالة منائير elaters جراثيم نبات أكويستم *Equisetum*. تحدث هذه الحركة فى بعض الثمار عند إنفتاحها حيث تجف الثمار تماماً وتفتح نتيجة للجفاف. تحدث هذه الحالة فى بعض قرون نباتات العائلة البقولية وفى الخردلة والخريدلة لنباتات العائلة الصليبية وأيضاً بعض الثمار العلبة. ففى حالة ثمار الأشولزيا فإنها علبة تفتح بمصاريع مع حدوث صوت أزيز أثناء الإنفتاح ويحدث الإنفتاح بشده وقد ينتج عنه إنتثار البذور. وفى كثير من نباتات العائلة القرنفلية تكون الثمرة عبارة عن علبة تفتح بالأسنان كما فى نبات القرنفل. وفى كثير من الحالات تظهر الأسنان حركة هيجروسكوبية حيث أن الأسنان تنحنى للخارج وتفتح العلبة وذلك فى الجو الجاف والعكس صحيح فى حالة الجو الرطب أو المطير حيث تنحنى الأسنان للداخل وبذلك تسبب غلق العلبة، وبهذه الحركة تحمى الثمرة البذور حيث أن الرطوبة والمطر تسبب تبليل البذور وإلتصاقها ببعضها وبالتالى صعوبة إنتثارها والعكس صحيح فى الجو الجاف حيث تنتثر البذور بسهولة من العلبة.

تفتح المتك نتيجة لفقد الماء من الطبقة الليفية. حيث أنه بعد تمام نضج المتك تبدأ أكياسه فى التفتح حيث تفقد الطبقة الليفية بعض مائها فيتجعد الجدار الخارجى لكل خلية من خلاياها وجدر خلايا هذة الطبقة مغلظة الجدر الداخلية والقطرية ورقيقة الجدر الخارجية ولهذا فإن الجدر الخارجية هى أكثرها تأثراً بفقد الماء وأكثرها إنحناء للداخل. ونتيجة لجفاف جميع خلايا الطبقة الليفية لأكياس حبوب القاح يفتح المتك. ينفتح المتك فـى منطقة خلاياها رقيقة الجدر ويكون على هيئة شق طولى عادة.

منظمات النمـــو

Growth Regulators

لابد من شرح العوامل التى تؤثر على نمو النبات قبل تعريف منظمات النمو .

العوامل التى تؤثر على نمو النبات:

يتحكم فى نمو النبات عوامل وراثية وعوامل بيئية حيث أن النمو فى النبات صفة مثل أى صفة عادية فى النبات حيث أنها تتأثر بتفاعل العوامل الوراثية والبيئية ومثال لذلك أنه توجد سلالات فى نبات الذرة قزمية قصيرة جدا وعلى النقيض توجد سلالات أخرى طويلة ذات طول ملحوظ وذلك راجع للإختلاف فى التركيب الوراثى، ونفس الحالة موجودة فى سلالات الفاصوليا والبسلة ونبات *Pharbitis*.

أما من حيث العوامل البيئية فهى كثيرة ونلخص هذه العوامل فيما يأتى:

١ ـ درجة الحرارة temperature للتربة والجو.

٢ ـ الضوء ـ شدته ونوعه ومدته.

٣ ـ كمية ماء التربة وخواصها.

٤ ـ بخار الماء فى التربة وفى الجو.

٥ ـ الذائبات الموجودة فى محلول التربة وأهمها العناصر المغذية للنبات الكبرى والصغرى.

٦ ـ الغازات الموجودة فى التربة.

٧ ـ الأيونات فى التربة القابلة للتبادل exchangeable ions in soil.

٨ ـ نوع الغازات الموجودة فى الهواء الجوى فإذا وجدت غازات ضارة سيقف النمو.

٩ ـ الضغط الجوى فإذا وجد ضغط عالى جداً أو منخفض جداً سيؤثر على نمو النبات.

١٠ ـ الرياح ـ لو زادت سرعتها فلها تأثيرات ضارة واختلال فى النتح.

١١ ـ الجاذبية الأرضية.

تعريف منظمات النمو:

منظمات النمو هى مركبات طبيعية تنتج بواسطة النبات أو مركبات صناعية لا تنتج بالنبات ولكن تخلق وتنتج صناعياً فى المصانع والمعامل وعند توفر هذه المركبات بتركيزات صغيرة يكون لها تأثير منظم على العمليات الكيموحيوية فى النبات وبالتالى فإنها تؤثر على النمو والتكشف. منظمات النمو الصناعية تسمى تركيبية synthetic.

ومنظمات النمو تشمل منشطات النمو growth activators ومثبطات النمو growth inhibitors. والتركيز الصغير من منظمات النمو كلمة عامة مطلقة غير محددة ولذلك قد اصطلح على أن التركيز الصغير فى حالة منظمات النمو هو لابد أن يكون أقل من $١٠^{-٣}$ جزيئى.

ومنظمات النمو تنقسم إلى منظمات نمو هرمونية وهى المقصود بها أيضاً منظمات النمو الطبيعية أى التى تنتج طبيعياً بالنبات وهى التى تسمى بالهرمونات النباتية plant hormones أو phytohormones. ومنظمات نمو الغير هرمونية وهى التى لا تنتج بواسطة النبات حيث أنها منظمات نمو صناعية أى تركيبية حيث أنه وجد فى كثير من الحالات ولحسن الحظ مركبات تحضر صناعياً ولا تتكون طبيعياً

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?
user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/
/Biothesis

https://www.researchgate.net/profile/
/Salam_Ewaid

07807137614



فى النبات ولها دور كبير فى تنظيم النمو كما فى الهرمونات النباتية ولذلك لا تسمى بالهرمونات النباتية على الإطلاق ولكن تسمى بمنظمات النمو. ومنظمات النمو تشمل مركبات كثيرة يمكن وضعها فى خمسة مجاميع هامة هى:

أ ـ الأوكسينات Auxins.

ب ـ الجبريللينات Gibberellins.

جـ ـ السيتوكينيات Cytokinins.

د ـ حامض الأبسيسيك Abscisic acid.

هـ ـ غاز الإثيلين Ethylene.

يمكن إضافة مجموعة سادسة وهى مثبطات النمو ومعوقات النمو.

تعريف الهرمونات النباتية:

هى منظمات للنمو تنتج بواسطة النبات وتنتقل من أماكن تكوينها site of production إلى الأماكن التى تظهر فيها تأثيرها site of action، ومثال ذلك أندول حامض الخليك ينتج على سبيل المثال وليس على سبيل الحصر فى القمم النامية للسيقان ولكن ينتقل من القمة النامية وهى أماكن تخليقه إلى أسفل فى الساق حيث يظهر تأثيره بوضوح فى منطقة الإستطالة.

طرق الكشف عن منظمات النمو:

توجد طرق عديده للكشف عن منظمات النمو ويمكن أن تصنف هذه الطرق إلى طرق حيويه bioassay وفيها يستعمل النبات أو أى جزء من أجزاؤه وطرق تحليل كيماوية بحتة تستخدم فيها أدوات أو أجهزه معينه. وفيما يلى ملخص لطرق التحليل الكيماوى المستخدمة فى الكشف عن الهورمونات النباتية.

١ ـ Paper Chromatography :

يتم تنقيط مستخلص الهورمون على فرخ ورق كروماتوجرافى ثم توضع قاعدة الورقه فى مذيب مناسب لمدة حوالى ٦ ـ ١٢ ساعه ثم تؤخذ الورقة وتجفف وتعامل بصبغه معينة لإظهار موقع الهورمون على هيئة بقعة على الورقة. لابد أن تكون البقعة على مسافة معينة من قاعدة الورقه أى أن لكل هورمون Rf معين.

٢ ـ Thin layer Chromatography :

كما فى الطريقة السابقة تماما إلا أنه يستخدم بدلاً من الورق لوح زجاجى عليه سيليكاجل.

٣ ـ أستخدام العناصر المشعة Radioactive tracers :

يمكن أدخال عناصر مشعة فى منظمات النمو فى أى مكان فى الجزيئ وتستخدم هذه المنظمات المشعة فى دراسة منظمات النمو داخل النبات. عادة يستعمل عنصر الكربون المشع ك١٤. يستعمل إندول حامض الخليك المشع فى دراسة إنتقال أندول حامض الخليك داخل النبات. ومن مميزات هذه الطريقة أنه يمكن الإستدلال على كميات أثرية من المركب داخل النبات أو داخل النسيج النباتى أو داخل الجزء تحت الدراسة. ومن عيوب هذه الطريقة أنه يظهر أحياناً الإشعاع فى مركبات أخرى نتيجة للتحول الغذائى للمركب فى داخل النبات أو الجزء أو النسيج تحت الدراسة ولذلك لابد من التأكد من ذلك وذلك بعمل إستخلاص بمركب أو مركبات معينة orthodox extraction فى أجزاء النبات المشعة. وبالكشف عن المستخلص بواسطة التحليل الكروماتوجرافى للتأكد من أن الإشعاع موجود فى مركب واحد فقط وأن المركب المشع هو نفسه المركب المستعمل فى بداية التجربة. ويمكن إستخدام طرق تحليل كروماتوجرافى مختلفة فى ذلك منها التحليل الكروماتوجرافى الورقى أو ذو الطبقة الرقيقة حيث يظهر مركب مشع واحد فقط وليست أكثر من مركب وأن يكون هذا المركب المشع له Rf

المركب الأصلى المستعمل فى التجربة. ومن مميزات هذه الطريقة أنه عند تحلل أو تحول منظم النمو يمكن معرفة المركبات الوسطية التى يتحلل إليها منظم النمو.

٤ ـ Gas - liquid chromatography and mass (Gas Chromatography) spectrometry :

تستخدم هذه الطريقة فى المركبات التى يمكن عمل مشتقات متطايرة لها ويعتبر الجبريللين أحد الأمثلة لذلك. وفى هذه الحالة يتم تحضير إسترات الميثيل methyl esters للجبريللين ويتم فصلها على عمود يحتوى مادة خاملة مثل تربة دياتومية diatomaceous earth ويتم تغطية هذه المادة الخاملة بواسطة مادة تسمى الطور الثابت stationary phase وتتميز مادة الطور الثابت بأن الإسترات قابلة للذوبان فيها. يتم إمرار تيار من غاز النيتروجين فى العمود ونتيجة لذلك يحمل غاز النيتروجين المشتقات المتطايرة للمخلوط. تنتقل المشتقات المتطايرة من الطور الثابت إلى غاز النيتروجين بسرعات مختلفة فى أوقات مختلفة تبعا لدرجة معامل التجزيء partition coefficient لكل إستر أو مركب. يمكن الإستدلال على هذه الإسترات أو المشتقات المختلفة عند خروجها من العمود بواسطة طرق فائقة الحساسية مختلفة والتى ينتج عنها تيار كهربائى. يتم عمل تكبير amplification لذلك ونتيجة لهذا التكبير يمكن رصد ذلك تلقائياً على ورقة متحركة خاصة moving chart. تعتبر المدة من الحقن إلى مرور المركب على العمود وخروجه منه ورضده هى عبارة عن retention time وتستخدم هذه المدة فى تعريف المركبات المختلفة. يعتبر حجم الإستجابة عبارة عن مقياس لتركيز المركبات المختلفة المراد قياسها والكشف عنها. تعتبر هذه الطريقة مفضلة فى الكشف عن الجبريللينات وتعتبر هذه الطريقة عظيمة الفائدة وفى منتهى الدقة والحساسية عندما يتبعها إستخدام mass spectrometry بعد ذلك. وقد إستعملت طريقة GLC - MS فى دراسة وتحليل خليط من جميع الهرمونات النباتية وهى الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات والإثيلين وحامض الأبسيسيك. ولذلك يتم فصل المركبات بواسطة GLC وبعد ذلك يتم التعرف على

وزنها وصفاتها الجزيئية بواسطة MS أى أن MS يلى GLC. تعتبر هذه الطريقة فى غاية الدقة والحساسية إلا أن الأجهزة مرتفعة الثمن.

وفى حالة الإثيلين تسمى هذه الطريقة gas - solid chromatography حيث أنه لا داعى لوجود الطور الثابت stationary phase فى داخل العمود.

عامة الإصطلاح gas chromatography يشمل GLC و GSC .

٥ ـ High - Performance liquid Chromatography :

هى عبارة عن طريقة محورة عن column chromatography ولكنها أكثر دقة وحساسية. حيث أن مستخلص الهورمون والذى لابد أن يكون زائد النقاوة (أى لابد من خطوات تنقية شديدة للمستخلص) يتم مروره عبر عمود تحت ضغط عال. ملأ العمود بواسطة مادة أو مواد خاصة وأيضاً مع وجود جهاز أشعة فوق بنفسجية حساس يزيد من كفاءه وحساسية التحليل . أستخدمت هذه الطريقة فى تحليل الجبريللينات ونواتج تحللها.

٦ ـ Flourimetry :

عند تعريض بعض المركبات لأطوال موجات معينة من الأشعة فوق البنفسجية فإن هذه المركبات تظهر حالة الفلوره fluorescense ومعنى الفلوره أن هذه المركبات تشع ضوء معين عند تعريضها للأشعة فوق البنفسجية أو أطوال موجات معينة منها ويختلف لون الضوء فى حالة الفلوره بإختلاف المركبات. تستخدم هذه الحالة فى قياس الهورمونات وخاصة إندول حامض الخليك حيث أن بعض مشتقاته تكون فائقة الحساسية لذلك. كلما زادت شدة الفلوره كلما زاد تركيز المركب. يلاحظ أن خطوات تحضير المستخلص الهورمونى هامة جداً وحيث لابد أن يكون شديد النقاوه لكى يتم الحصول على نتائج صحيحة. ومن مميزات هذه الطريقة أنه يمكن عمل الإستخلاص والكشف فى أقل من ثمانية ساعات.

٧ ـ الطرق اللونية بواسطة جهاز Spectrophotometer :

يمكن تقدير تركيز منظمات النمو النقية بواسطة درجة إمتصاصها للضوء ويكون ذلك بإمتصاصها لطول موجه معينة للضوء وكلما زاد التركيز كلما زاد إمتصاص الضوء وتستعمل فى ذلك أجهزة تسمى Spectrophotometers وفى حالة إمتصاص الأشعة فوق البنفسجية يسمى الجهاز .U.V.

الأوكسينات
Auxins

تعتبر كيفية أكتشاف الهرمونات النباتية هي كيفية أكتشاف الأوكسينات:

كيفية اكتشاف الهورمونات النباتية (منظمات النمو) :

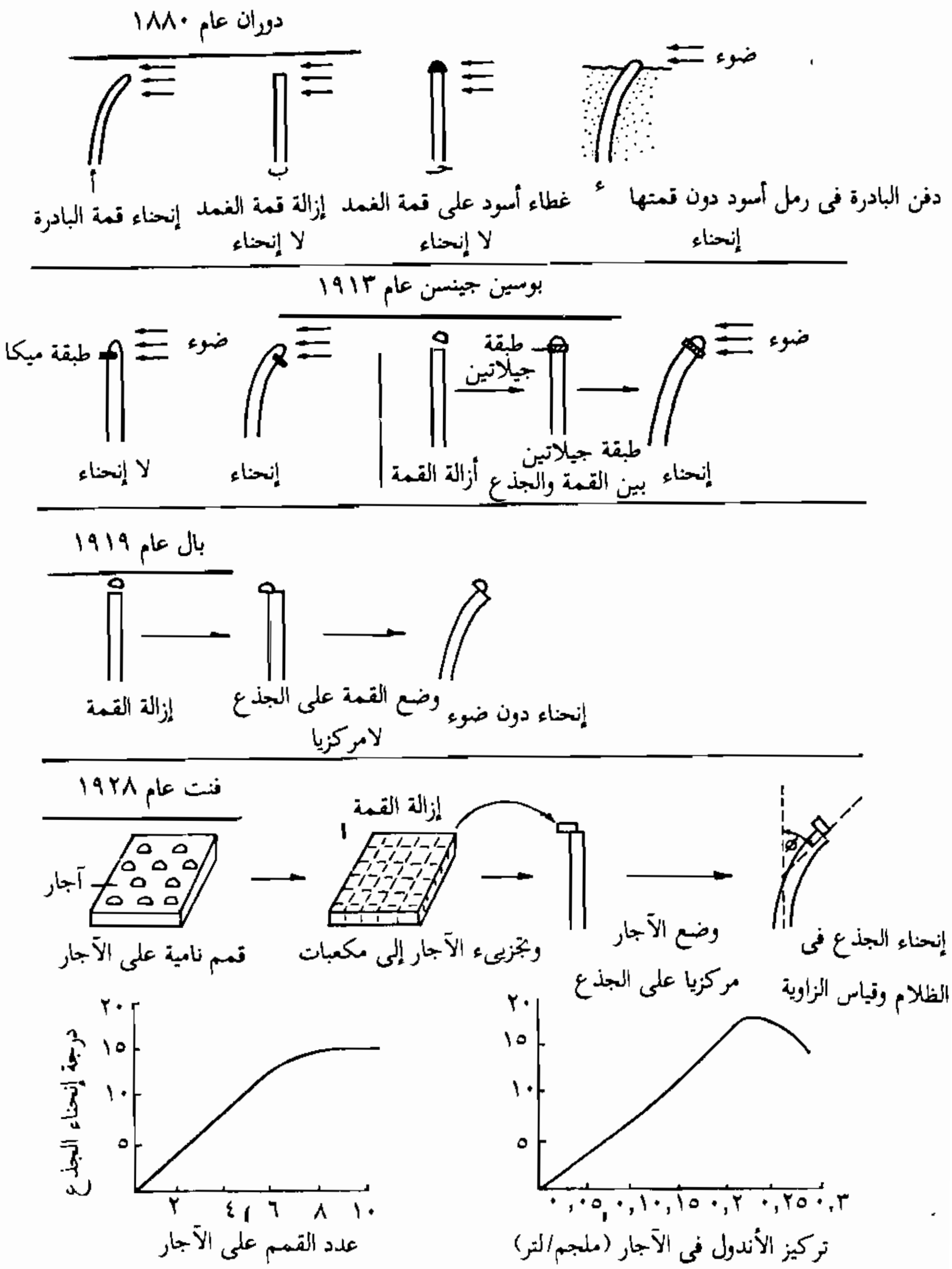
كان أول دليل على وجود الهرمونات النباتية هو نتيجة لبحوث وتجارب العلامة داروين Charles Darwin وابنه Francis أثناء تجاربهم على نبات من العائلة النجيلية (شكل ٤٥) هو نبات *Phalaris Canariensis* فقد وجدا أن تعريض غمد الريشة coleoptile إلى إضاءة جانبية يؤدى إلى إنحناء الغمد فى إتجاه الضوء. كما وجدا أن تغطية الغمد بغلاف معتم منع إنحناء قمة البادرة. كما وجد أن تغطية منطقة تحت القمة دون القمة بغلاف معتم لم يمنع إنحناء الغمد وأدى ذلك إلى حدوث إنحناء للغمد. وقد إستنتجوا من ذلك أن قمة الغمد فقط هى القادرة على إستقبال الضوء وتحويله إلى حالة نشطة حيث يظهر تأثيره أسفل القمة، وذكر داروت ذلك فى كتابه الذى ألفه سنة ١٨٨١ وأسم الكتاب the power of movement in plants قوة الحركة فى النبات. وقد ذكر فى هذا الكتاب نتيجة للتجربة السابقة أنه يوجد مادة أو مواد منشطة تنقل من قمة الغمد إلى أسفل حيث تظهر تأثيرها فى حدوث الإنتحاء (الإنحناء فى هذه الحالة يسمى إنتحاء ضوئى موجب phototropism أى أن الغمد ينمو فى إتجاه الضوء). وتلى ذلك كثير من العلماء ومن أهمهم ما يأتى:

Boysen – Jensen الدانمركى سنة ١٩١٣ حيث أنه وجد أن وضع طبقة من المايكا mica أسفل القمة النامية فى الغمد فى الناحية البعيدة عن الضوء فإنه لا يحدث إنحناء وعندما وضع هذه الطبقة فى الجانب القريب من الضوء حدث إنحناء. وعندما وضع بين القمة المقطوعة والجذع stump طبقة من الجيلاتين حدث إنحناء. الجذع وهو الجزء المتبقى من الغمد بعد إزالة القمة النامية (شكل ٤٥).

ومن النتائج السابقة نستنتج أنه يوجد منشط stimulus مادة أو مواد منشطة تنتقل من القمة إلى أسفل وتنتشر خلال الجيلاتين وذلك فى الجزء البعيد من الضوء . يمكن أن تنتشر هذه المادة فى الجيلاتين دون أن تفقد خصائصها.

وجد العالم Paal المجرى سنة ١٩١٩ أن قطع القمة النامية ووضعها على أحد جانبى الجذع فى الظلام سبب حدوث إنحناء للجذع. وأجرى تجارب أخرى فى الظلام أيضاً حيث أن أزالة جزء من الغمد أسفل القمة النامية سبب ذلك أيضاً حدوث إنحناء للجذع وفى تجربة ثانية قام بملىء مكان القطع بالجيلاتين فإن إنحناء الجذع لم يحدث وفى تجربة ثالثة أزال القمة النامية ووضع على قمة الجذع على أحد نصفيه طبقة ميكا ووضع على النصف الآخر طبقة جيلاتين ثم أعاد وضع القمة النامية فحدث إنحناء للجذع فى أتجاه طبقه الميكا تماماً كما لو وضعت القمة النامية على أحد جانبى قمة الجذع. (شكل ٤٥).

وجد سودنج Soding عام ١٩٢٥ عندما أزال قمة الغمد عدة ملليمترات فإن قمة الجذع تنمو ببطء ويسمى فى هذه الحالة الجزء القمى بالقمة الفسيولوجية physiological tip عند إعادة وضع القمة فأن الجذع ينمو عادياً وإذا أعيد قطع الجذع مرة ثانية لعدة ملليمترات فإن نموه يتوقف تماماً. ومن هذه التجارب استنتج أنه يوجد فى القمة مركبات نشطة تنتقل من القمة إلى القاعدة لكى تظهر تأثيرها وأن عدم وجود جزء كبير من القمة يسبب عدم نمو الجذع. حيث أن إستطالة الغمد تحدث فى الجزء القاعدى منه أساساً (شكل ٤٥).



(شكل ٤٥) : أهم التجارب التى أثبتت وجود الأوكسين .

وجد العالم الهولندى فنت Went من ٢٨ ـ ١٩٣٥ أن وضع القمم النامية بعد قطعها من بادرات الشوفان على طبقة رقيقة من الآجار بتركيز ٣ ٪ وبعد ساعة أزال القمم وقطع طبقة الآجار إلى مكعبات صغيرة متساوية فى أعدادها لأعداد القمم النامية وعند وضع هذا المكعب على الجذع فإن الجذع ينمو إلى أعلى نمو عادى وعند وضع مكعب آجار لم يوضع عليه قمم نامية فإنه لا يحدث نمو للجذع وعندما وضع مكعب الآجار على منتصف الجزء البعيد من الجذع حدث نمو وإنحناء للجذع، ومن هذه التجارب استنتج Went بطريقة لا تقبل الشك أن القمة النامية تنتج مركبات تنتقل إلى الجذع وتنتشر فى الآجار دون أن تفقد خصائصها مسببة نمو الجذع وذلك باستطالة خلاياه ولذلك يتم نمو الغمد إلى أعلى (شكل ٤٥).

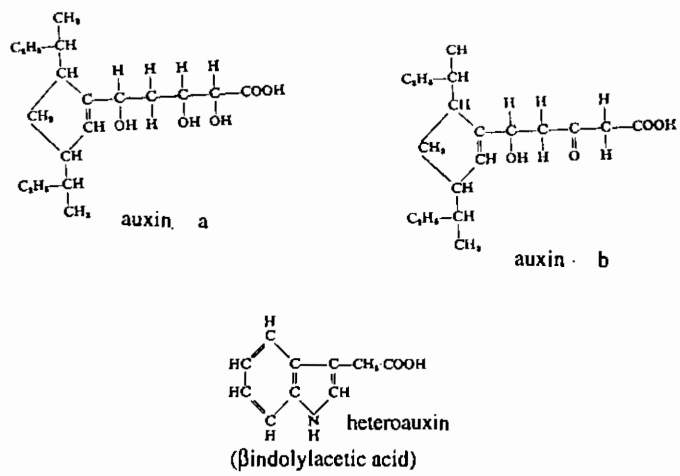
جميع التجارب السابقة للعلماء السابقين كانت على غمد الريشة لنبات الشوفان ماعدا تجارب دارون فإنها كانت على غمد الريشة لنبات الفلارس. وقد أختير غمد الريشة فى هذه التجارب لأن غمد الريشة فى نباتات العائلة النجيلية ينمو فى الضوء العادى حتى طول ١,٥ إلى ٢ سـم ولكن فى الظلام يصل إلى ٦سم. وجد أيضا أن نمو الغمد يرجع لإنقسام وإستطالة خلاياه حتى ربع طول الغمد أما الطول الباقى ($\frac{3}{4}$ طوله) يكون راجع إلى إستطالة الخلايا فقط، ومن ذلك فإن جميع التجارب السابقة يكون النمو راجع لإستطالة الخلايا فقط وتأثير المركبات المنشطة للنمو هى نتيجة لتأثيرها الفعال على إستطالة الخلايا. وجدت هذه التأثيرات أيضا على جميع النباتات البذرية وعلى أجزاء أخرى وهى السيقان وأعناق الأوراق وأعناق الأزهار. وأجريت بعد ذلك تجارب لعزل هذه المركبات.

عزل الهرمون النباتي:

أجريت فى هذا الموضوع تجارب كثيرة لاستخلاص هذه المركبات من النباتات إلا أن كثيراً من هذه التجارب باءت بالفشل حيث أن تركيز هذه المركبات فى النباتات العادية تكون ضئيلة جدا وصعب فصلها أو عزلها حينئذ. تمكن سنة ١٩٣٤ العالم كوجل Kogl وآخرون من عزل ثلاثة مركبات نقية فى صورة بللورية ووجد أن هذه المركبات تعطى نفس التأثير فى التجارب السابقة على غمد الريشة لنبات الشوفان

وذلك من مصادر طبيعية وهذه المصادر هى زيوت نباتية مختلفة والمولت malt وأيضا من بول الإنسان. وهـذه المركبات الثلاثة سميت باسم auxin a وتركيبه $C_{18}H_{32}O_5$ و auxin b وتركيبه $C_{18}H_{30}O_4$ والمركب الثالث heteroauxin (والترجمة الحرفية لهذا الإسم هو auxin و other) وتركيبه $C_{10}H_9O_2N$ ، وأتضح فيما بعد أن المركب الأخير هو عبارة عن اندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA) والاسم الكيماوى للمركب الأول auxentriolic وللمركب الثانى auxenolonic (شكل ٤٦).

عزل auxin a من بول الإنسان وعزل كل من auxin a و auxin b من زيوت نباتية مختلفة والمولت، أما heteroauxin فقد عزل من بول الإنسان كما عزل أيضاً من بعض أنواع الخميرة والفطريات. وفى ذلك الوقت أعتقد أن هذا المركب الأخير لا يوجد فى أنسجة النباتات الزهرية وأن الأساس فى حدوث ظاهرة الإنتحاء هى أوكسين a. وقد أجريت كثير من التجارب فى هذا الموضوع فى تلك الفترة وقد أثبتت الغالبية العظمى من التجارب أن أوكسين a على وجه الخصوص هو المسئول عن الإنتحاء. يرجع الفضل فى التعرف على التركيب الكيماوى لهذه المركبات للعالم Kogl ومساعدوه (شكل ٤٦).



(**شكل ٤٦**) : أوكسينات مختلفة معزوله بواسطه الرواد الأوائل.

أما عن كيفية إثبات وجود الأوكسين فى بول الإنسان فقد تم تجميع ١٥٠ لتر من بول الإنسان من أحد المستشفيات وبعد سلسلة من طرق الإستخلاص تم الحصول على أربعون ملليجرام من مادة فى صورة بلورية وقد سببت هذه المادة حدوث إنحناء لغمد الريشة لنبات الشوفان. أستخدمت أيضاً نفس طرق الإستخلاص فى حالة المصادر النباتية الأخرى مثل مستخلص الشعير malt والخميرة والفطريات وهو فطر *Rhizopus suinus* وذلك لإستخلاص الأوكسينات السابقة وإختبار نشاطها بطريقة غمد الريشة أيضاً. وبعد ذلك وبتقدم طرق الإستخلاص والفصل للمركبات ثبت وجـود بعض أخطاء لما سبق. فقد تمكن هاجن سميت Haagen Smit عام ٤٢ ـ ١٩٤٦ من عزل مركب heteroauxin أى أندول حامض الخليك ولأول مرة من النباتات الزهرية وكان ذلك من حبوب الذرة الشامية وبعد ذلك ثبت وجود هذا المركب فى كثير من النباتات الزهرية بل وأصبح الآن يعتبر أندول حامض الخليك هو الأوكسين الرئيسى بل قد يكون الوحيد الموجود طبيعياً فى النباتات الزهرية بل إن إنتشاره عام أيضاً فى النباتات البذرية والسرخسية والحزازية والطحالب والفطريات. ومما هو جدير بالذكر أيضا إتضح أن أوكسين a وأوكسين b ليس لهما وجود حيث لم يتمكن أحد بعد ذلك وحتى الآن من عزل هذه المركبات من النباتات وأصبح heteroauxin أى أندول حامض الخليك هو الأوكسين الطبيعى المنتشر والموجود فى النباتات وذلك على العكس تماما مما كان هو معروف فى فترة الثلاثينيات وأوائل الأربعينيات.

يعتبر إكتشاف أندول حامض الخليك هو أول إكتشاف للأوكسينات حيث يعتبر هذا المركب هو أول أوكسين طبيعى اكتشف وبعده حدث اكتشاف لمركبات أوكسينات عديدة أخرى كما سيلى شرحه بالتفصيل عند الحديث عن الأوكسينات. يعتبر أيضا أول هورمون نباتى تم إكتشافه.

أوضحت التقديرات أنه يلزم عشرون ألف طن من قمم أغماد الريشة لأنتاج جرام واحد من أندول حامض الخليك.

الترجمه الحرفيه لكلمة أوكسين:

كلمة أوكسين هى مشتقة من اللغة اليونانية حيث أنه باللغة اليونانية Auxin معناها To grow أى لكى ينمو.

مقدمة تاريخية عن الأوكسينات:

تعتبر مقدمة الهورمونات النباتية التى ذكرت سابقا هى مقدمة للأوكسينات وكيفية اكتشافها وبالفعل فإن أول مركب مكتشف من هذه المجموعة هو مركب أندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA) وقد سبق شرح تفصيلى لكيفية الاستدلال على وجوده وكيفية عزله والتعرف على تركيبه.

تعريف الأوكسينات:

الأوكسين هى تسمية عامة لأى مركب يسبب إستطالة فى خلايا الساق المقطوعة.وقد يكون له تأثيرات أخرى حيوية مثل التأثير على إنقسام الخلايا أو تشكل الخلايا وغيرها من الظواهر الحيوية للنبات.

وفى التجارب المعملية لاثبات نشاط وفاعلية الأوكسين تستعمل أجزاء من غمد الريشة للنباتات النجيلية أو من السيقان فإذا تم حدوث نمو طولى لهذه الأجزاء المقطوعة فيكون ذلك دليل كبير على أن المركب أوكسين.

الحالات المختلفة التي توجد عليها الأوكسينات:

١- الأوكسين الحر Free Auxin

وهو عبارة عن أوكسين قابل للإنتشار. وهو بالفعل ما وجد فى تجارب فنت Went حيث أنه قام بفصل الأوكسينات من القمم النامية نتيجة لانتشارها من القمم إلى طبقة الآجار أو الجيلاتين وهذا هو الحال فى جميع الأوكسينات الحرة أنها قابلة للإنتشار. يفضل أسم الأوكسين الحر حيث أن الأكسين الحر لا ينتشر فى جميع

الإتجاهات بل ينتقل إنتقال قطبى فى إتجاه واحد فقط أى ينتشر فى إتجاه واحد فقط كما سيلى شرحه.

٢- الأوكسين المقيد Bound Auxin

توجد الأوكسينات فى صورة أخرى غير حرة وتكون مرتبطة بمكونات الخلية أو محجوزه داخل الفجوه العصاريه ولذلك تكون غير قابلة للإنتشار ولذلك لعزل وفصل هذه الأوكسينات لابد من سحق العضو النباتى المراد استخلاص الأوكسين منه. وتحدث عملية الإستخلاص للأوكسين من العضو النباتى بواسطة مذيبات عضوية معينة مثل الكلوروفورم وكحول الميثيل أو الإيثيل و diethyl ether. ومن المعروف أن النباتات تحتوى على الحالتين السابقتين من الأوكسينات ولكن من الثابت أن نسبه الأوكسينات الحرة لاتتجاوز ١٠٪ من التركيز الكلى للأوكسينات أى أن تركيز الأوكسين المقيد والمرتبط هو ٩٠٪. يتكون الأوكسين الحر من الأوكسين المقيد أو المرتبط أو من مركب بدائى الأوكسين precursor وفى الحالة الأولى والثانية يتم تحرره من المكونات أو المركبات المرتبط بها ويصبح حر وفى الحالة الثالثة يتكون بواسطة تفاعلات وسطية من الحامض الأمينى تربتوفان.

من عيوب إستخلاص الهورمون الحر أنه قد ينتشر مع الهورمون مركبات مثبطة للهورمون وبذلك تقلل من نشاطه وتوجد هذه المثبطات inhibitors فى القمم النامية أيضاً.

وأيضاً عيوب الإستخلاص بالمذيبات العضوية وجود أنزيمات تؤثر على الأوكسين وتغير تركيبه وتقلل من نشاطه مثل إنزيم أندول حامض الخليك أوكسيديز ولذلك يجب حفظ المستخلص فى درجة حرارة صفر درجة مئوية. يمكن أيضاً أن يفسد أو يتغير تركيب أندول حامض الخليك أثناء الإستخلاص.

أنواع الأوكسينات:

تقسم الأوكسينات أيضاً إلى أوكسينات طبيعية وهى الأوكسينات التى تتكون وتتوزع فى النبات ومثال ذلك أندول حامض الخليك (Indole acetic acid (IAA،

وإكسينات تركيبية أو تخليقية synthetic وهى التى لاتوجد فى النباتات ولكن يتم تصنيعها فى المصانع والمعامل لما لها من خصائص المركبات الأوكسينية. وهذه المركبات كثيرة وعديدة وتنتمى إلى مجاميع كيماوية محددة وسيتم ذكر أمثلتها مع شرح تفصيلى لعلاقة تركيب الأوكسين بنشاطه الحيوى وكفاءته كمركب أوكسين.

التركيب الجزيئي وعلاقته بنشاط الأوكسينات:

من المعروف أن أندول حامض الخليك يتوفر فيه خصائص معينة من ناحية تركيبه فهو أولا مركب حلقى وثانياً يحتوى على روابط مزدوجة غير مشبعة وثالثاً أنه حامض يحتوى على مجموعة كربوكسيل ورابعاً أنه مركب حلقى له سلسلة جانبية. وقد دعى ذلك كثير من علماء فسيولوجيا النبات إلى تجربته وحصر كثير من المركبات الأخرى التى لها نفس الخصائص وكذا المواصفات من ناحية التركيب الجزيئى.

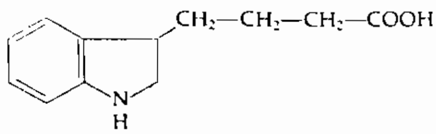
وقد أختبرت هذه المركبات التى فيها الخصائص السابقة وذلك لتقدير كفاءتها من حيث نشاطها كأكسينات وذلك بإختبارها على غمد الريشة لنبات الشوفان وقياس درجة الإنحناء فى حالة هذه المركبات ونتيجة لذلك الحصر لهذه المركبات أمكن تحديد خمسه مجاميع رئيسية من المركبات وكل مجموعة تحتوى على عديد من المركبات (شكل ٤٧ و ٤٨) وهذه المركبات هى:

١ - مشتقات الفينوكسى Phenoxy:

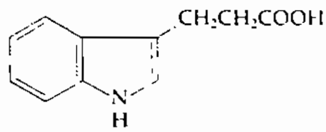
ومن أمثلتها 2- Chlorophenoxy acetic acid and 2,4 - Dichlorophenoxyacetic acid

فى مجموعة الفينوكسى لابد أن يكون أحد مواقع الوضع أورثو Ortho فارغ ولذلك فإن كلا من المركبين chlorophenoxyacetic acid و dichlorophenoxyacetic acid أى (2,4 - D) ذو فاعلية كبيرة وأن وجود ذرتى كلور أحداهما فى غير أحداهما فى غير الموضع أورثو يزيد من كفاءة المركب عنه فى حالة وجود ذرة كلور واحدة

Indoles

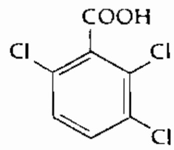


indole-3-propionic acid

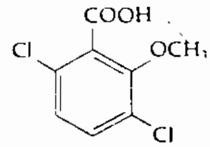


indole-3-butyric acid

Benzoic acids

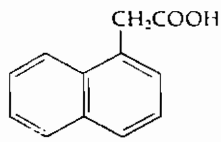


2,3,6-trichlorobenzoic acid

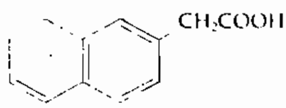


2-methoxy-3-6-dichlorobenzoic acid (dicamba)

Naphthalene acids

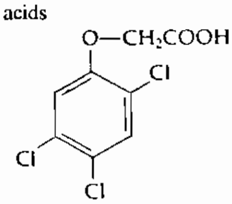


α -naphthalene acetic acid

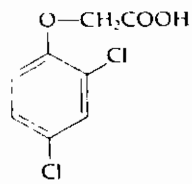


B -naphthalene acetic acid

Chlorophenoxy acids

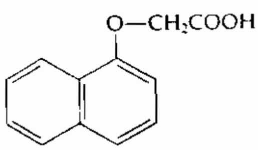


2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2, 4, 5 - T)

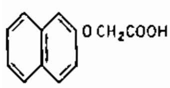


2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)

Naphthoxy acid

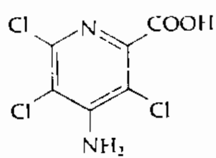


α -naphthoxyacetic acid



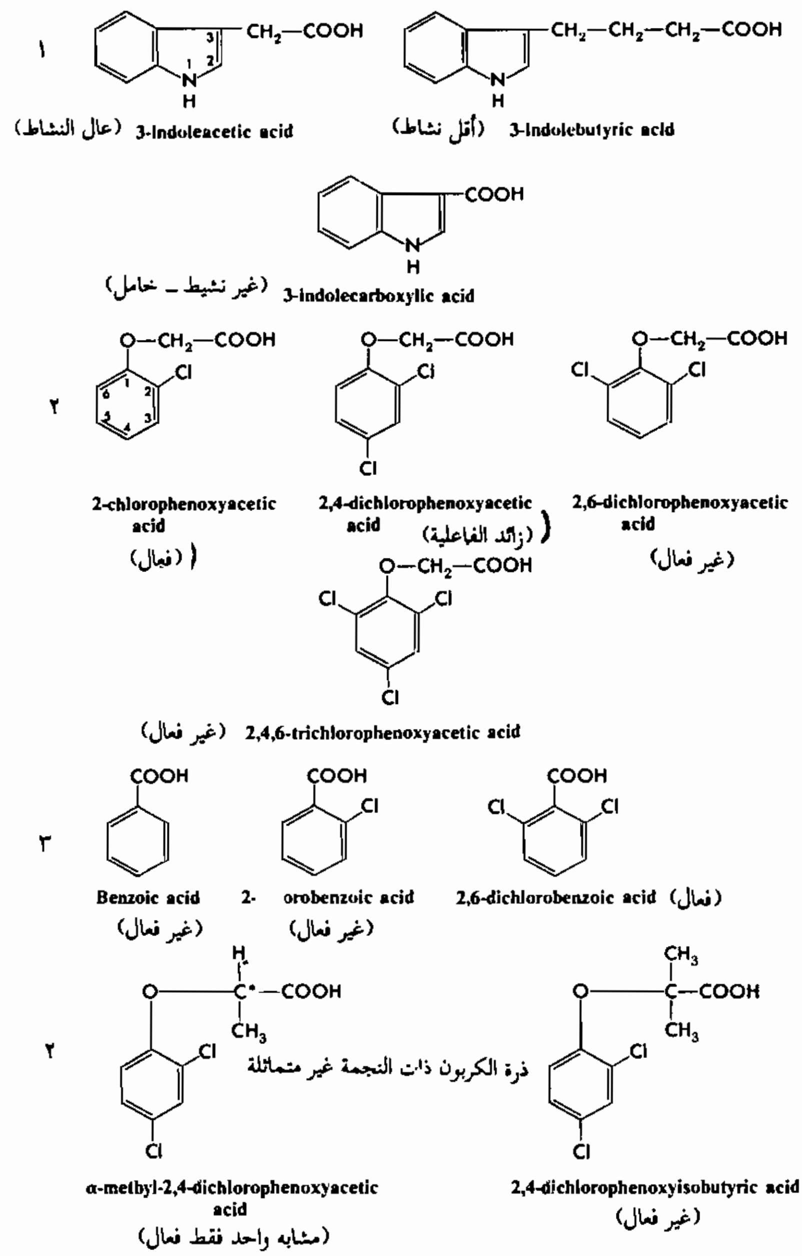
B-Naphthoxyacetic acid

Picolinic acid



4-amino-3,5,6-trichloropicolinic (tordon) acid (tordon or pichloram)

(شكل ٤٧) : التركيب الجزيئي للأوكسينات .



(**شكل ٤٨**) : تركيب الأوكسينات الطبيعية والتركيبية ومشتقاتها الفعالة والغير فعالة .

بمعنى أن المركب الثانى أكثر كفاءة من الأول أى أن الأثنين يمكن استعمالهما ولكن هناك واحد أفضل من الأخر. وأيضاً المركب 2,4,5-T فعال (شكل ٤٧). وفى حالة وجود ذرتى كلور فى الوضع أورثو يسمى 2,6- Dichlorophenoxyacetic acidوفى هذه الحالة موضعى الأورثو بهما ذرتى كلور ولذلك فإن هذا المركب عديم الفاعلية كأوكسين تماماً. يكون المركب فعال عند إحلال مجموعه ميثيل بدلاً من الكلور على الذره رقم ٢ وينتج عن ذلك المركب- 2 - Methyl - 4 chlorophenoxyacetic acid. وجد أن استبدال ذرة H بمجموعة ميثيل ينتج مركب يسمى .Methy l-2,4 -dichlorophenoxyacetic acid

هذا المركب وجد أن الحالة النشطة له كأوكسين هو الحالة D أما الحالة L فتكون خاملة أو غير فعالة. حيث أن ذرة الكربون الأولى فى السلسلة الجانبية تكون غير متماثلة asymmetric .

أما فى حالة استبدال ذرتى الأيدروجين بمجموعتى ميثيل فإن المركب الناتج غير نشط تماماً. ومثال ذلك 2,4-dichlorophenoxyisobutyric acid .

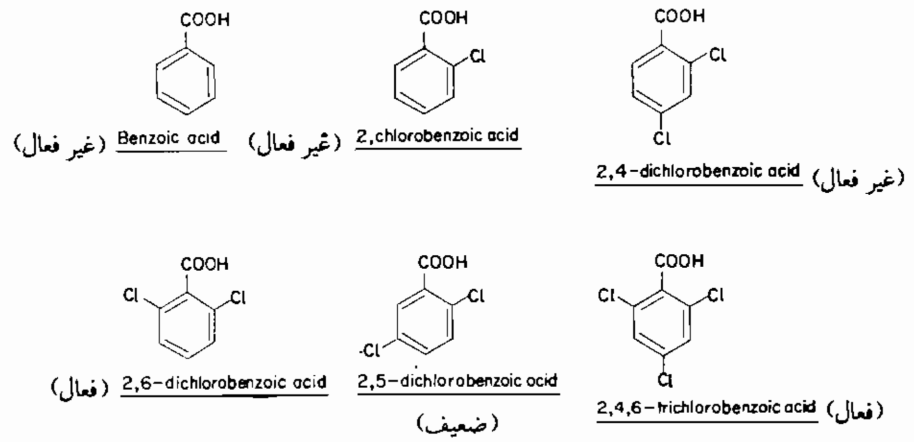
ومما سبق يتضح أن التغير فى تركيب الحلقة يؤثر على فاعلية الأوكسين وأيضا التغير فى تركيب السلسلة الجانبية يؤثر على كفاءة الأوكسين.

٢ ـ مشتقات الأندول Indole :

يعتبر الأندول مركب حلقى به روابط غير مشبعة يتكون من حلقة سداسية (بنزين) وحلقة خماسية بها مجموعة ن يد NH . وجد أن زيادة أو نقص عدد ذرات الكربون فى السلسلة الجانبية عن ذرتين يقلل من كفاءة المركب ولذلك فإن إندول حامض البيوتريك والبروبيونيك أقل كفاءة وفاعلية من إندول حامض الخليك Indole acetic acid (IAA)كما وجد أيضا أن إندول حامض الكربوكسليك عديم الفاعلية تماما. ولذلك فإن الحالة المثالية لمركبات الإندول كأوكسين هى أن تكون حلقة الإندول لها سلسلة جانبية مكونة من ذرتين كربون كما فى إندول حامض الخليك.

٣ – مشتقات حامض البنزويك :Benzoic acid

يتكون حامض البنزويك من حلقة سداسية ومجموعة كربوكسيل وهذا المركب غير فعال كأوكسين ولكن ملء موضعى الأورثو ortho بذرتى كلور يسبب نشاط كبير للمركب ويصبح فعال كأوكسين. ولكن ملء موضع أورثو واحد فقط بذرة كلور واحدة يصبح المركب غير نشيط وغير فعال كأوكسين وبذلك تكون عكس حالة مركبات الفينوكسى. يعتبر مركب 2,6-dichlorobenzoic acid كأوكسين وأيضاً المركبات 2,3,6- trichlorobenzoic acid و 2,4,6-trichlorobenzoic acid و 2-methoxy-3,6-dichlorobenzoic acid (dicamba) فعالة (شكل ٤٩).



(شكل ٤٩) : مشتقات حامض البنزويك الفعالة وغير الفعالة.

٤ ـ مشتقات النفثالين :Naphthalene

يتكون النفثالين من حلقتين سداسيتين ويضاف إليه سلسلة جانبية من حامض الخليك أو أوكسى حامض الخليك وبذلك يصبح النفثالين فعال كأوكسين ومثال ذلك ألفا وبيتا نفثالين حـامـض الخليك naphthalenacetic acid (NAA) وأيضاً ألفا وبيتا نفثوكسى حامض الخليك naphthoxyacetic acid. تستعمل المركبات السابقه بكثرة كأوكسينات شديدة الفاعلية (شكل ٤٧).

٥ ـ مشتقات حامض البيكولينيك Picolinic Acid:

وأهم مركب فى هذه المجموعة هو (4 - amino 3, 5, 6 - trichloropicolinic acid وهو فعال وله نشاط ملحوظ (شكل ٤٧).

فى جميع الحالات السابقه تشبيع الحلقه وعدم وجود روابط مزدوجه يفقد الجزيىء نشاطه.

وعامة فإن جميع المركبات المذكورة سابقا تعتبر أوكسينات تركيبية عدا IAA وعامة فإن عدد الأوكسينات التركيبية كبير جداً وهى المستعملة عادة فى الإستعمالات الإقتصادية فى علوم البساتين والمحاصيل ولكن عدد الأوكسينات الطبيعية قليل جداً.

نظرية مناطق الإستقبال وفاعلية الأوكسين:

وجد إعتقاد مؤخراً أنه بالإضافة إلى ما سبق فإنه يوجد شرط آخر لابد أن يتوفر فى الأوكسينات وهو أنه لابد من وجود أحد موقعى الأرثو ortho على الحلقة القريبة من السلسة الجانبية والتى تنتهى بمجموعة الكربوكسيل قادر على تكوين رابطة تعاونية بسهولة. ولكن بدلاً من هذا الشرط والذى لايؤخذ فى الإعتبار كثيراً الآن فإنه لابد من وجود شحنة موجبة على موقع معين من الحلقة.

should be a fractional positive charge at a specific point on the ring.

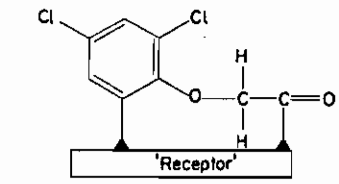
وفى حالة الأخذ فى الإعتبار أنه لابد من وجود سلسلة جانبية تنتهى بمجموعة كربوكسيل ووجود موقع ortho فارغ على الحلقة لكى يصبح الأوكسين فعال كما فى حالة مجموعة الفينوكسى وقد دعى ذلك إلى أفتراض أن التفاعل الأساسى للأوكسين فى داخل الخلية يشمل جزئين وهما مجموعة الكربوكسيل الموجودة على السلسلة الجانبية وأيضاً موضع ortho على الحلقة وقد دعى ذلك إلى إفتراض نظرية تسمى نظرية موقعى الإلتحام two point attachment theory for auxin action

لعمل الأوكسين (شكل ٤٩ أ) auxin action أى أنه لابد منه لكى يعمل الأوكسين ويكون نشط لابد من توفير موقعين للألتحام. وقد تم إقتراح أنه لابد من وجود رابطة تعاونية بين هذين الموقعين على الأكسين وبعض مكونات الخلية مثل البروتين. أى يتحد الأوكسين برابطتين تعاونيتين مع بعض مكونات الخلية مثل البروتين وبذلك يصبح الأوكسين نشط وفعال ومؤثر فى أداء وظائفه. أمكن إثبات هذه النظرية بإستخدام مركبات مختلفة من الفينوكسى حيث أنه فى حالة 2,4 -D يوجد موقعين يتصلان بالمستقبل فى الخلية وقد يكون البروتين وأحد الموقعين عبارة عن مجموعة الكربوكسيل والموقع الآخر ortho على الحلقة ولذلك يصبح المركب فعال ولكن فى حالة 2,6-D يحدث نفس الشيئ من حيث الإلتحام كما فى 2,4-D تماماً إلا أن الموقع ortho الثانى مشغول بالكلور ولذلك يصبح المركب غير فعال كأوكسين لأن الموقعين مشغولين بالكلور ولايوجد موقع ortho حر. وفى حالة مركب 2,4 - dichloroanisole فإن غياب مجموعة الكربوكسيل الطرفية فى السلسلة الجانبية يجعل المركب غير قادر على الإلتحام فى موقعين نتيجة لغياب مجموعة الكربوكسيل الطرفية وبذلك يصبح المركب غير كفء فى آداء عمله كأوكسين. وفى حالة 2,4 - dichlorophenoxy iso-butyric acid فإن التوزيع الفراغى للجزيئ يكون غير مناسب ولذلك لايحدث الإلتحام فى موقعين ويحدث الإلتحام فى موقع واحد فقط هو موقع الكربوكسيل ولذلك يصبح المركب غير فعال كأوكسين (شكل ٤٩ أ).

بعد إكتشاف التركيب الجزيئى لإندول حامض الخليك عام ١٩٣٤ فقد حاول الباحثون تحديد الجزء الخاص فى الجزيئ الذى يسبب فاعلية وتأثير هذا الأوكسين فى عمل وإنجاز العمليات الحيوية المختلفة

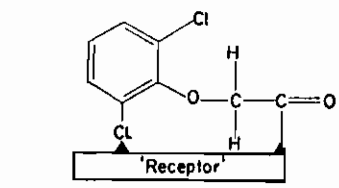
What was "special" in the chemical structure of IAA to impact such profound influences on growth and developmental processes.

١



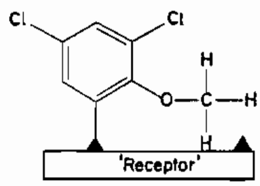
(2,4 – dichlorophenoxyacetic acid)

٢



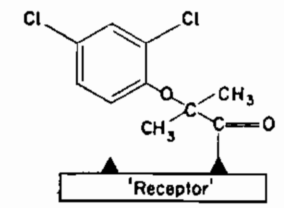
(2,6 – dichlorophenoxyacetic acid)

٣



(2,4 – dichloroanisole)

٤



(2,4 – dichlorophenoxy iso- butyric acid

(شكل ٤٩ أ) : نظرية موقعى الأرتباط أو الألتحام

١ ـ D - 4 و 2 مرتبط بموقعى أستقبال ولذلك فهو فعال

٢ ـ D - 6 و 2 غير فعال حيث أن موقعى ortho بها ذرتى كلور.

٣ ـ dichloroanisole - 4 و 2 غير فعال لغياب مجموعة كربوكسيل طرفيه.

٤ ـ dichlorophenoxy iso butyric acid - 4 و 2 غير فعال حيث أن التوزيع الفراغى للجزيئى. يمنع الألتحام أو الأرتباط بين الموقع ortho الخال من الكلور وبين موقع الأستقبال النشط.

وقد ساد الإعتقاد بأنه إذا أمكن معرفة ذلك فإن ذلك سيوضح ميكانيكية تأثير الأوكسين فى دخال الخلايا. وقد حاول الباحثون أيضاً عمل نفس الشيئ بعد إكتشاف الجبريللينات والسيتوكينينات.

ولدراسة ذلك لتوضيح الجزء الفعال فى الجزيئ فقد تم إختبار كثير من المركبات بواسطة إختبارات حيوية مناسبة suitable bioassay لتحديد مدى صلاحية أو كفاءة هذه المركبات المختبرة أن تعمل كأوكسينات. وقد وجد أن بعض من المركبات المختبرة تكون مشابه فى تأثيرها لتأثير أندول حامض الخليك عند أستعمالها بتركيزات منخفضة جداً وقد أمكن تخليقها بالمعامل ولذلك سميت بالأوكسينات التركيبية. وجد أن هذه الأوكسينات التركيبية متباعدة ومختلفة إختلافاً كبيراً فى تركيبها الكيماوى ولايمكن وضعها فى مجموعة واحدة حيث أنها إذا كانت متقاربة التركيب كان من السهولة بمكان تحديد الجزء الفعال فى الجزيئ المحدد والمسئول عن صفات الأوكسين للمركب. وبالرغم من إختلاف التركيب فإن المحاولات جارية للتعرف على ماهى الصفات التى تضفى على المركب صفة الأوكسين أو بمعنى آخر ماهو الجزء الخاص فى الأوكسين الذى يسبب فاعلية كأوكسين. وإذا تم تحديد ذلك فإنه سيوضح بكفاءة ميكانيكية عمل الأوكسين فى خلايا النبات. وقد تم بالفعل نتيجة لهذه الإختبارات إكتشاف أندول حامض البيوتريك وإندول حامض البروبيونيك وبعد ذلك تم إكتشاف الأوكسينات الأخرى مثل 2,4-D و 2,4,5-T و MCPA.

نتيجة مقارنة التركيب الجزيئى لهذه المركبات فقد أمكن تحديد صفات الجزيئى والتى تكسبه خصائص الأوكسينات. وهذه الصفات مايأتى :

١ ـ تركيب حلقى يحتوى على رابطة واحدة مزدوجة على الأقل.

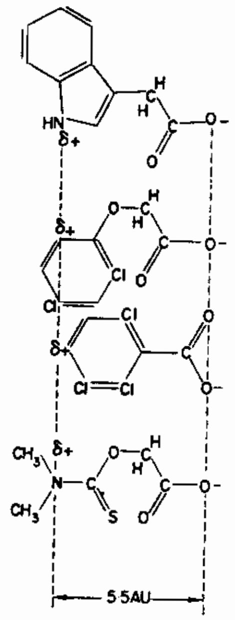
٢ ـ سلسلة جانبية تحتوى على مجموعة كربوكسيل أو مجموعة من السهل تحويلها إلى كربوكسيل.

٣ ـ وجود ذرة كربون على الأقل بين الحلقة وبين مجموعة الكربوكسيل.

٤ ـ يوجد توزيع فراغى خاص particular spatial relationship بين الحلقة ومجموعة الكربوكسيل.

يلائم ذلك الغالبية العظمى من الأوكسينات ولكن وجد بعض شواذ لهذه القاعدة حيث وجد أن بعض مشتقات حامض البنزويك أوكسينات نشطة وليس لها سللسة جانبية.

لابد من توضيح أن الشروط اللازم توافرها فى الأوكسينات والسابق ذكرها وأيضاً نظرية موقعى الإلتحام أو الإرتباط لعمل الأوكسين (لنشاط الأوكسين) تعتبر غير كافية أو غير شاملة لجميع الأوكسينات حيث تشذ بعض منها كما فى حالة مشتقات حامض البنزويك حيث لايلائمها شروط الأوكسينات السابق ذكرها كما لا يلائمها نظرية موقعى الإلتحام أو الإرتباط لعمل الأوكسين. وذلك مما دعى بعض علماء فسيولوجيا النبات إلى عدم قبول هذه النظرية. ولذلك توجد الآن نظريات مشابها هى three point attachment theory وأيضاً نظرية multi-point attachment theory أى نظرية مواقع الإرتباط الثلاثة ونظرية مواقع الإرتباط أو الإلتحام العديدة. وقد نشأ أعتراض آخر على طريقة ألتحام المركب بالمستقبل البروتينى فى الخلية هل الأرتباط بواسطة رابطة تعاونية أو بروابط من أنواع أخرى أو حالات أخرى ومنها فان درفالس Van der Waals والروابط الإلكتروستاتيكية electrostatic forces. حيث وجد بإختبار ومقارنة مركبات كثيرة أن المركب الفعال كأوكسين يكون ذو شحنة سالبة قوية تنشأ نتيجة تأين مجموعة الكربوكسيل والتى تبعد عن شحنة موجبة ضعيفة على الحلقة بمسافة قدرها ٥٫٥ أنجتروم (شكل ٤٩ ب). وقد أقترح أن ذلك هو الأساس لنشاط أى مركب كأوكسين. يمكن أن توضح هذه النظرية النشاط النسبى والمختلف للأوكسينات المختلفة وأن الإختلاف فى نشاط وكفاءة الأوكسينات المختلفة والمتشابهة فى تركيبها يكون راجع إلى الإستبدال على الحلقة فى موقع الشحنة الموجبة وأيضا حجم الشحنة الموجبة غير معروف حتى الآن طبيعة المستقبل فى الخلية للأوكسين وأيضاً غير معروف موقعة بالخلية. وحتى الآن غير معروف بالضبط ما هى المواصفات الهامة والأساسية فى الجزيئ لكى يصبح فعال كأوكسين.



(شكل ٤٩ ب) : تأثير المسافة بين الشحنه الموجبه والسالبه على الجزيئ وفاعلية الأوكسينات.
المسافة بين الشحنه السالبة القوية أو الشحنه الموجبة الضعيفة على الجزيئ هى ٥,٥ أنجستروم وذلك للمركبات من القمه إلى القاعدة على الترتيب التالى أندول حامض الخليك و 2, 4 - D و2, 5, 6 - trichorobenzoic acid و carboxymethylthiocarbamate.

الأوكسينات الطبيعية والأوكسينات التركيبية:

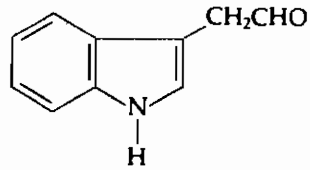
جميع الأوكسينات التى سبق ذكرها فى الجزء السابق تعتبر تركيبية عدا إندول حامض الخليك فهو يعتبر أوكسين طبيعى. كان إلى عهد قريب يعتبر إندول حامض الخليك هو الأوكسين الطبيعى الوحيد ولكن حديثا أمكن إثبات وجود إثنان آخران وهما فينيل حامض الخليك Phenylacetic acid وإندول حامض الخليك الكلورى chlorinated IAA.

تمكن Wightman and Lighty عام ١٩٨٢ من إثبات أن فينيل حامض الخليك عبارة عن أوكسين طبيعى. تعتبر كفاءة ونشاط هذا المركب أقل من إندول حامض

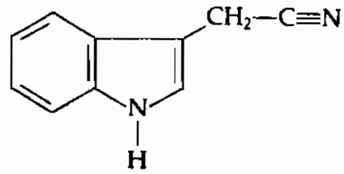
الخليك ولكن عادة توجد بتركيزات كبيرة نسبيا فى النبات تفوق تركيز إندول حامض الخليك. وجد هذا الأوكسين فى عديد من النباتات منها الطماطم والتبغ وعباد الشمس والبسله والشعير والذره الشامية. يعتبر المركب الذى يتكون منه فينيل حامض الخليك هو الحامض الأمينى فينيل ألانين. يتم تحول الحامض الأمينى phenylalanine إلى حـامض فينيل بيروفيك phenylpyruvic acid فى وجود إنزيم أمينو ترانسفيريز غير متخصص nonspecific aminotransferase ثم يتم تحول الأخير إلى فينيل حامض الخليك وذلك نتيجة لحدوث أكسدة مع نزع أو إزالة جزيئ ك أ٢ oxidative decarboxylation . للتأكد من أهمية فينيل حامض الخليك وإندول حامض الخليك لابد من حدوث طفرة فى النبات فى أحدهما ينتج عنها عدم تكوين فينيل حامض الخليك وطفرة أخرى فى نبات آخر ينتج عنها عدم تكوين إندول حامض الخليك وبالتالى يمكن ملاحظة التغيرات والأضرار التى تحدث فى نمو النبات فى كل حالة وبذلك يمكن إثبات أهمية كل من المركبين فى نمو النبات وأيهما يفوق الآخر.

تمكن Nitsch و Gander عام ١٩٦٧ وأيضا Larsen و Egsgaard و Engvild عام ١٩٨٠ من إثبات أن المركب 4 - chloro-3-indoleacetic acid يعتبر أوكسين طبيعى وهو يوجد فى البذور الغير ناضجة للبسلة فى الجنسين *Pisum* و *Lathyrus* وأيضا فى الجنس *Vicia*. وجد أن هذا المركب أكثر فاعلية من أندول حامض الخليك عند أستعمال إختبار النمو الطولى لغمد الريشة لنبات الشوفان Avena straight growth test

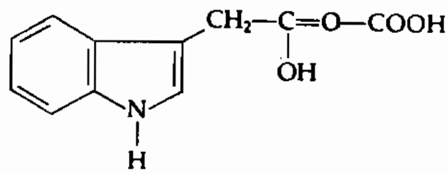
أما عن المركبات الأندولية الحرة السائدة خلاف الـ IAA التى توجد فى مختلف النباتات هى إندول ٣ـ أسيتالدهيد indole-3- acetaldehyde (IAALD) وإندول ٣ـ حامض البيروفيك Inacid indole-3-pyruvic ، وإندول أسيتونيتريل indole-3 (IAN) acetonitrile ، وإندول ٣ـ أيثانول indole-3- ethanol ، والتركيب الكيميائى لهذه المركبات موضح (شكل ٥٠). وبالرغم من أن الباحثين قد عزلوا جميع هذه



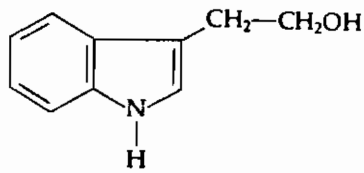
indole-3-acetaldehyde (IAALD)



indole-3-acetonitrile (IAN)



indole-3-pyruvic acid



indole-3-ethanol

(**شكل ٥٠**) : التركيب الجزيئى للمركبات الأندوليه الحرة خلاف أندول حامض الخليك.

المركبات الأندولية الحره من النبات، إلا أن معظم الدراسات تؤكد فكرة أن جميعها تتحول إلى IAA وجميعها غير ذى نشاط حيوى، على سبيل.المثال إنزيم الدهيد دى هيدروجينيز aldehyde dehydrogenase هذا الأنزيم الذى يحفز تحولIAALD إلى IAA نشط فى الأنسجة والتى وجد فيها الباحثون IAALD. وبالمثل فقد وجد IAN فى كلا من العائلة الصليبية والعائلة النجيلية والتى يصاحبه فيهما إنزيم نيتريليز nitrilase والذى يشترك فى تحويل الـ IAN إلى IAA، وبالتالى فإن هذه الحالات

المتماثلة فى عديد من النباتات يدل على أن الـ IAA هو الأوكسين الحر النشط الأعظم فى النباتات ، وفوق ذلك فإن الصورة الحرة للأوكسين تستخدم بواسطة النبات فى عمليات النمو. بعض الأوكسينات التركيبية (كيماويات لا توجد طبيعياً) النشطة ظاهرياً تظل على الأقل جزئياً حرة عندما تمتص بواسطة النباتات. وربما مع ذلك تصبح مرتبطة أو تصبح غير سامة .

أماكن تكوين وتخليق الأوكسينات:

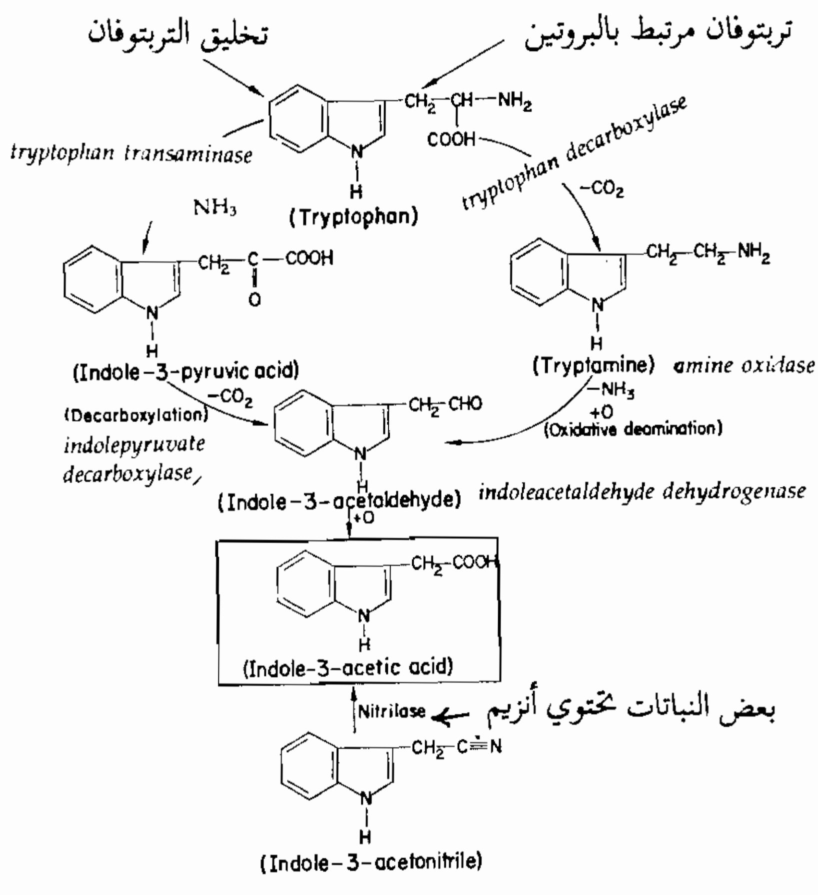
من المعروف أن الأوكسينات تتكون أو تخلق فى القمم النامية وفى الأنسجة المرستيمية ومناطق أستطالة الخلايا على وجه الخصوص ومثال ذلك القمم النامية للساق ولغمد الريشة والأوراق الصغيرة والبراعم الخضرية والزهرية وجنين البذرة والثمار الصغيرة بمعنى أن الأجزاء النشطة فى الإنقسام وهى الأجزاء الميريستيمية يكون عادة فيها تركيز الأوكسينات عال بالمقارنة بالأجزاء البعيدة عنه. تخليق الأوكسينات فى القمم النامية للجذور مثار للجدل .

كيفية تخليق وتكوين أوكسين أندول حامض الخليك :

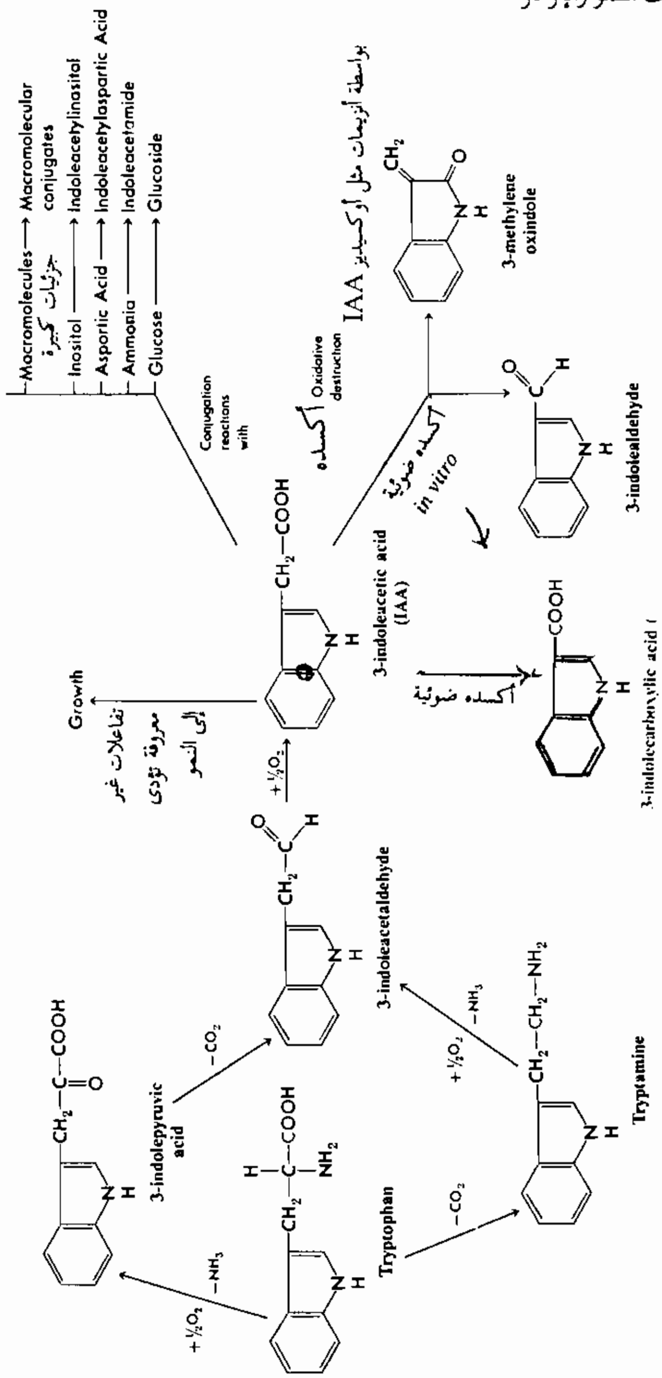
من المعروف أن النباتات تحتوى على أحماض أمينية كثيرة ولكن يهمنا فى هذا المجال الحامض الأمينى تريبتوفان tryptophan حيث أن هذا الحامض يعتبر المركب الأصل Precursor الذى يتكون منه IAA وذلك عن طريق تفاعلات إنزيمية يتحول هذا الحامض الأمينى إلى مركبات وسطية، ومن هذه المركبات يتكون أندول حامض الخليك وذلك نتيجة لتفاعلات إنزيمية أى يدخل فيها الإنزيمات. ومن الشكل يتضح أن التربتوفان يمكن أن يتحول إلى إندول بيروفيك أسد indole pyruvic acid وذلك بـواسطة عملية oxidative deamination ومعناه إعطاء الأوكسيجين وأخـذ ن يد٣ ، وأن المركب الأخير فى حدوث Decarboxylation يتحول إلى مركب indole acetaldehyde، وكلمة Decarboxylation تعنى نزع ثانى أكسيد الكربون.

ويمكن أن يتحول التريبتوفان بواسطة decarboxylation إلى مركب tryptamine والمركب الأخير فى وجود oxidative deamination يتحول إلى مركب indole

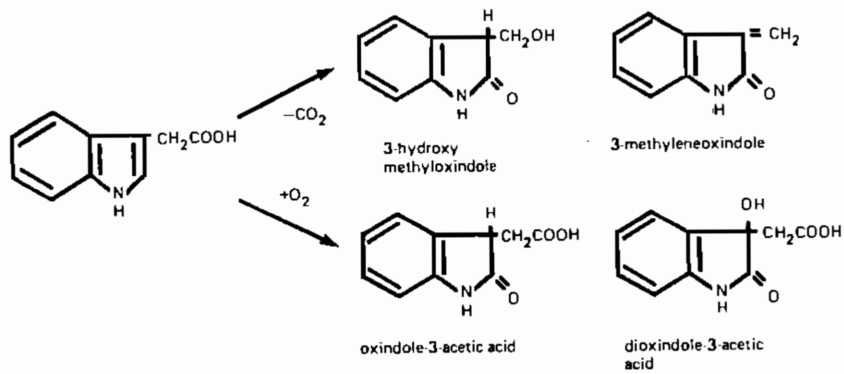
acetaldhyde ولذلك فإن الناتج النهائي لكل من هذين الطريقين هو تكوين الإندول أسيتالدهيد وهذا المركب الأخير وفي حدوث الأكسدة oxidation وذلك بإعطاء الأكسجين يكون الناتج هو مركب إندول حامض الخليك (IAA). ويعتبر ما سبق هى أهم طرق تكوين هذا الهورمون. يقوم بهذه التفاعلات أنزيمات مختلفة (شكل ٥١ و ٥٢).

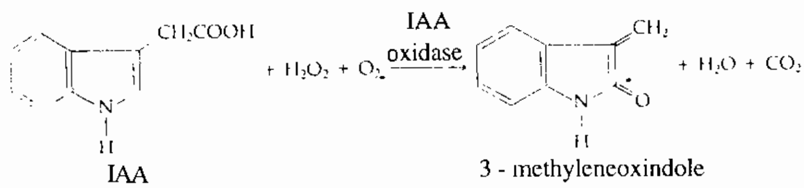


(شكل ٥١) : تخليق Indole-3- acetonitrile وأندول حامض الخليك.



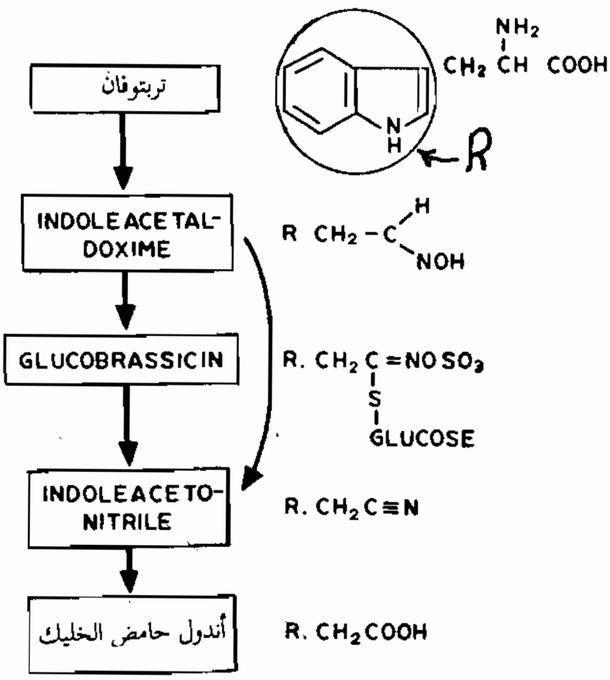
(شكل ٥٢) : تخليق وهدم وارتباط أندول حامض الخليك .





(شكل ٥٢ أ) : خطوات هدم أندول حامض الخليك ونشاط أنزيم IAA oxidase.

يوجد طريق آخر يتم فيه تحويل التربتوفان إلى أندول حامض الخليك ويحدث ذلك فى بعض نباتات من العائلة الصليبية مثل الكرنب والخردل mustard. حيث يتم تحويل التربتوفان إلى indole acetaldoxime ثم يتحول الأخير إلى مركب أندول أسيتونيتريل indole acetonitrile (IAN) مباشرة أو عن طريق تكوين مركب glucobrassicin. ثم يتحول مركب IAN إلى إندول حامض الخليك (شكل ٥١ و ٥٤) تحدث هذه التفاعلات بواسطة الأنزيمات (شكل ٥٤).

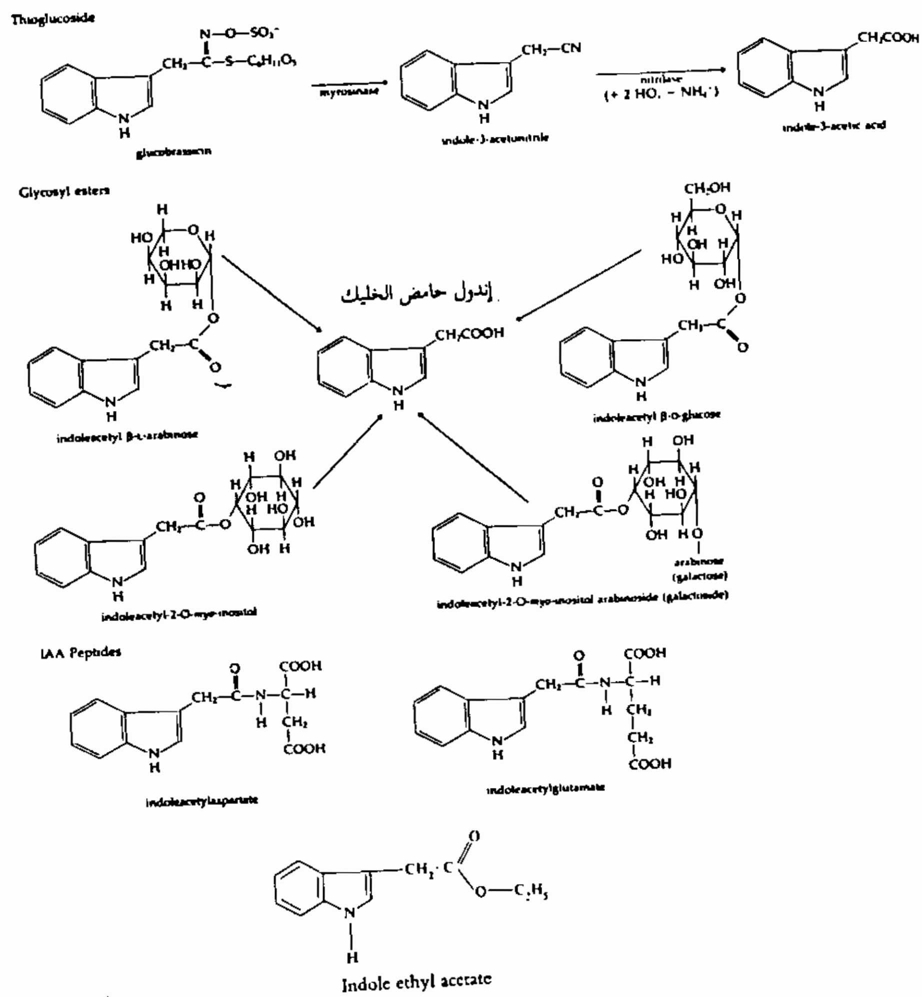


(شكل ٥٣) : خطوات تكوين إندول حامض الخليك من glucobrassicin .

تثبيط فاعلية جزيىء أندول حامض الخليك:

من المعروف أن التركيز الزائد من إندول حامض الخليك يسبب ضرر لأنسجة النبات.

ولذلك يوجد فى النبات ميكانيكية معينة تساعد على ثبات تركيز إندول حامض الخليك نسبياً فى النبات وفى حدود معينة وتمنع من زيادة تركيزه بدرجة غير مرغوبة بالنسبة للنبات. يوجد ثلاث طرق يمكن بها تثبيط نشاط هذا الأوكسين وهى ما يأتى:



(شكل ٥٤): بعض مركبات الأكسين المرتبطة.

١ ـ الأكسدة الضوئية Photo - oxidation: تمتص جزيئات إندول حامض الخليك الأشعة فوق البنفسجية فى التجارب المعملية وذلك عند تعريض محلول هذا الأوكسين إلى هذه الأشعة. نتيجة لذلك يتكون مركب غير نشاط كيماوياً وحيوياً كأوكسين أى عديم الفاعلية من الناحية الفسيولوجية وهو إندول حامض الكربوكسليك indolecarboxylic acid. تثبط أشعة X وأشعة جاما نشاط هذا الأوكسين أيضاً. لا تمتص جزئيات إندول حامض الخليك النقى الضوء المنظور أى الضوء العادى ولذلك فإنه توجد صبغات متخصصة فى النبات تعمل كمستقبل photoreceptive أى لإستقبال الضوء العادى وإمتصاصه ومثال ذلك صبغة الريبوفلافين riboflavin ولذلك فإن تعريض محلول من إندول حامض الخليك نقى وبه جزيئات صبغة الريبوفلافين فإن الأوكسين يتأكسد ويفقد نشاطه. يتحول الأوكسين أثناء عملية الأكسدة أى فى وجود الأوكسجين وحيث يدخل الأوكسجين فى التفاعل إلى إندول حامض الكربوكسليك وأيضاً إلى indoleglycolic acid. يعتبر الضوء الأزرق فى الضوء العادى هو المؤثر والفعال فى أكسدة هذا الأوكسين وذلك بالمقارنة بألوان الطيف الضوئى الأخرى حيث أن الريبوفلافين يمتص الضوء الأزرق بشدة. ينتشر الريبوفلافين بكثرة فى النباتات ولذلك فإنه المسئول عن أكسدة هذا الأوكسين فى الطبيعة وفى المستخلصات. يعتقد أيضاً أن صبغة أخرى لها دور فى ذلك وهى صبغة بيتاكاروتين وهى أيضاً شائعة الوجود فى النبات وتمتص الضوء الأزرق بشدة.

وجد أن الأكسدة الضوئية *in vitro* لإندول حامض الخليك ينتج عنها مركبات لم يتم تعريفها وأيضاً مركبين هما إندول ألدهيد indolealdehyde و3-methylene oxindole

٢ ـ الأكسدة الأنزيمية Enzyme oxidation: أى الأكسدة بواسطة الأنزيمات. يتم أكسدة الأوكسين بكفاءة عالية بواسطة أنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك IAA oxidase. يعتبر هذا الأنزيم واسع الإنتشار فى النباتات المختلفة مثل القمح وعباد الشمس. يستهلك ويستعمل الأوكسجين فى التفاعل ويخرج ك أ٢ oxidative

decarboxylation. يتحول الأوكسين إلى عديد من المركبات أهمها methyleneoxindole و hydroxymethyloxindole (شكل ٥٢).

يحتاج هذا الإنزيم إلى عاملين مساعدين Co- Factors لنشاطه وهما أيون المنجنيز ومركب فينول أحادى monophenol مثل حامض الكوماريك coumaric acid. من المعروف أن المركبات أحادية الفينول تسبب نمو النبات وقد يكون ذلك فى أنها تسبب نشاط هذا الإنزيم وبالتالى فإنه يقلل من تركيز إندول حامض الخليك وبالتالى يـؤثـر على نمـو النبات. والعكس صحـيـح فـى حـالة مـركبات polyphenols وdiphenols حيث أنهما يثبطان نشاط هذا الإنزيم ومثال لهذه المركبات حامض الكافيك caffeic acid والبيروجالول pyrogallol. ولذلك فإن المركبات الأخيرة تحمى الأوكسين من الأكسدة، ولذلك توجد حالة من المعاونة والتأثير التعاونى synergesticبين الأوكسين و diphenols فى نمو غمد الريشة لنبات الزمير وأيضاً تشجيع تكوين الجذور على عقل السويقة الجنينية السفلى لنبات mungbean. توجد مركبات diphenols و monophenols بكثرة فى النباتات المختلفة وهى قابلة للتحول بسهولة من مركب إلى آخر وأيضاً بكثرة interconvertible. ولذلك فإن هذه المركبات المختلفة وأيضاً هذا الإنزيم لهم القدره على التحكم فى تركيز إندول حامض الخليك فى النباتات المختلفة فى الأنسجة المختلفة وفى مختلف البيئات وفى الأزمنة المختلفة وفى الأعمار المختلفة. عادة يكون تركيز هذا الإنزيم فى أنسجة النباتات المسنة كبير وبالتالى فإن تركيز الأوكسين قليل . يمكن أن يتكون نتيجة للأكسدة مركب indolealdehyde (شكل ٥٢).

يمكن أن يتأكسد إندول حامض الخليك إلى المركبات السابقة بواسطة إنزيم البيروكسيديز peroxidase ولابد أن يكون ذلك فى وجود فوق أكسيد الإيدروجين eroxidative decarboxylation. تعتبر كفاءة هذا الإنزيم فى أكسدة الأوكسين أقل كفاءة بالمقارنة بالإنزيم السابق، تعتبر مشابهات isoenzymes إنزيم البيروكسيديز فعالة أيضاً ولكنها تختلف فى درجه فاعليتها.

والفرق الأساسى بين نشاط البيروكسيديز والأوكسيديز هو أن تفاعل الأوكسيديز يحتاج إلى أوكسجين الهواء الجوى وأنزيم البيروكسيديز يحتاج إلى أوكسجين من أى فوق أوكسيد مثل فوق أكسيد الإيدروجين يدم أم. إلا أنه فى تكسير الـ IAA فإن الإنزيم الذى يظهر نشاط البيروكسيديز يعمل أيضاً كالأوكسيديز ويستهلك الأوكسجين الجوى فى التفاعل. وخطوات تفاعل إتلاف الـ IAAبواسطة الأوكسيديز يمكن تلخيصها كما هو موضح فى التفاعل (شكل ٥٢ أ). والنواج النهائية الرئسية لإتلاف الأوكسين هى ٣ ميثيلين أوكسينى إندول (3 - methyleneoxindol) أو إندول الدهيد indolealdehyde، والإنتاج النسبى لكل منهما ربما يختلف من نبات لأخر.بعض حالات الأنزيم ـ تحتاج لأيونات ومركب فينولى مثل ٢ ـ ٤ ـ داى كلورفينول dichlorophenol. أوضحت الدراسات المبكرة إختلاف واتساع مدى الـ pH الأمثل للإنزيمات المتحصل عليها من مصادر نباتية مختلفة مما يرجح وجود صور متعددة إنزيمية، تلك الحقيقة التى عرفت الآن من دراسات الفصل الكهربى electropheresis على إنزيمات أكسيديزات الـ IAA، قد عرفت منتجات طبيعية وكيمائية معينة خاصه بتثبيط ومنع تفاعلات أكسدة الـ IAA وهى عباره عن فينولات ثنائية أو عديده الأيدروكسيد مثل حمض الكلوروجينيك chlorogenic، وحمض الكافيك caffeic acid.

كما يمكن أن تحدث الأكسده oxidation عن طريق أضافه الأوكسجين ويتكون نتيجه لذلك مركبات كثيره أهمها oxindole-3-acetic acid وdioxindole-3-aceticacid وذلك فى أندوسبرم وجذور والمجموع الخضرى للذره وأيضا فى أجزاء من نبات الأرز (شكل ٥٢أ).

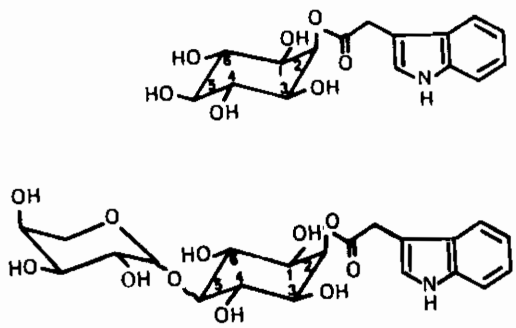
٣ ـ الإرتباط Conjugation: يمكن أيضاً أن يدخل IAA فى تفاعل مع مركبات أخرى أى يرتبط مع مركبات أخرى (شكل ٥٤ و ٥٥) بواسط رابطه أميديه أو إستريه amide and ester linkages عاده ويصبح عديم الفاعلية وفى صورة غير فعالة والبعض يعتبر هذه التفاعلات detoxification reaction حيث أنها تقلل من تراكم IAA. حيث أن تراكم هذا الأوكسين لدرجة كبيرة جداً نسبياً تسبب ضرر للنبات أو

النسيج النباتى الموجودة فيه ولكن عند ارتباط الأوكسين بالمركبات المختلفة التى سيلى ذكرها فإنه يصبح عديم الفاعلية ولا يحدث تأثير ضار فقد يتفاعل مع الجلوكوز فيكون IAA - glucoside أو سلسلة من سكر الجلوكوز فيسمى IAA - Glucan وقد يتفاعل IAA مع الأمونيوم ليكون Indoleacetamide أو قد يتفاعل مع حامض الاسبارتيك ليكون Indoleacetylaspartic أو قد يتفاعل مع Inositol ليكون Indoleacetylinositol أو يتفاعل مع سكريات أخرى غير الجلوكوز ليكون IAA - glycosides أو مشتقات لهذه المركبات والسكريات. وقد يتفاعل أو يدمص على جزيئ البروتين ويصبح غير فعال . يمكن تحرير الأوكسين من هذه المركبات بواسطة تفاعلات إنزيمية مختلفة أنزيمات hydrolases ويصبح الأوكسين حر نشط فعال.

وجد الأن بعض من أنزيمات hydrolase مثل IAA-myo-inositol hydrolase فى بارات الذره وأيضا أنزيم IAAlysine hydrolase فى خلايا أورام مرض تعقد الزيتون حيث توجد أورام على أفرع نبات الزيتون، شكل (٢١٥أ) تقوم بتحرير الأوكسين.

ولذلك فإن الإرتباط أيضاً يعتبر طريقة يمكن بها المحافظة على تركيز الأوكسين فى الأنسجة المختلفة فى النباتات المختلفة فى الظروف البيئية المختلفة فى أعمار النبات المختلفة. يتراوح تركيز الإندول المرتبط فى الأنسجة بين ٥٠ – ٩٠ ٪.

وجد أن المرتبطات conjugates مع إندول حامض الخليك فى حبوب الذرة



(شكل ٥٥) : التركيب الجزيئى الفراغى لمركب.
indole-3-acetyl 2-0 myo- inositol (العلوى) ومركب indole -3- acetyl -2-0- myo-inositol -5-0- arabinoside (السفلى)

الشامية كثيرة ونصفها أى ٥٠ ٪ منها تقريباً عبارة IAA-glucan وأما الباقى فهو عبارة عن IAA- *myo* -inositol و IAA -*myo*-inositol-arabinose و IAA - *myo* - inositol - galactose وآثار من IAAglucose. يوجد مركب IAA- *myo* -inositol علاوة على ذلك فى الأنسجة الخضرية للذرة الشامية وحبوب الأرز. وجد أن حبوب الزمير تحتوى على ٨٠ ٪ أندول حامض الخليك مرتبط فى صورة IAA glucoprotein . وجد أن IAA-1- aspartate هو الحالة الرئيسية التى يوجد فيها إندول حامض الخليك فى بذور فول الصويا وأوراق بادرات البسلة. وقد أمكن تخليق المرتبطات IAA conjugates خارج النبات *in vitro* وذلك بإستعمال إنزيم من حبة الذرة الشامية وفيما يلى خطوات تخليق المرتبطات المختلفة (شكل ٥٦).

يعتبر glucobrassicin و ascorbigen من الأوكسينات المرتبطة وبالمثل بعض

IAA + UDP-glucose
$\rightleftharpoons$ IAA-1-*O*-β-D glucose + UDP
IAA-glucose + *myo*-inositol
→ IAA-*myo*-inositol + glucose
IAA-*myo*-inositol + UDP-galactose
→ IAA-*myo*-inositol-galactoside + UDP
or
IAA-*myo*-inositol + UDP-arabinose
→ IAA-*myo*-inositol-arabinoside + UDP

(شكل ٥٦) : خطوات تخليق مركب
IAA - *myo* - inositol - arabinoside

الأوكسينات التركيبيه ربما ترتبط كمعقدات مع الأحماض الأمينية (والشائع الإرتباط مع حمض الأسبرتك والجلوتاميك) وإسترات الجليكوسيل.

يوجد عامة ثلاثة أنواع من الأوكسينات فى النباتات وهى الحرة والمقيدة والمرتبطة. تتضمن الأوكسينات الحرة تلك الأوكسينات القابلة للإنتشار، والتى تتحرك خارجة من النسيج فى الحال على سبيل المثال الأوكسينات التى تنتشر خارجة من قمة غمد الريشة إلى الآجار، وتلك الأوكسينات المقيدة ومن أمثلتها IAA الموجود بالفجوه العصارية ويكون من الصعب خروجه من الفجوه والأستفادة منه والتى يمكن استخلاصها فى المذيبات المختلفة على سبيل المثال داى إيثيل إيثر diethyl ether عند

درجة صفر إلى ٥ْم وعلى النقيض، الأوكسينات المرتبطة هى تلك الأوكسينات التى تتحرر (تنطلق) من الأنسجة النباتية بعد تعريضها إما للتحلل المائى hydrolysis أو بالتحلل الذاتى autolysis أو التحلل الإنزيمى enzymolysis. على سبيل المثال تسخين أوراق السبانخ فى محلول قلوى ضعيف أو معاملتها بالإنزيمات المحللة مائياً للبروتين (حيث يمكن أن يرتبط الأوكسين) تعطى كمية أكبر من الأوكسين عن تلك التى توجد فقط بالإستخلاص المباشر عند اتباع الطريقة العادية.

ومما هو جدير بالذكر أنه قديماً أمكن إثبات إرتباط الأوكسين بالمركبات المختلفة فى حبوب النجيليات وحيث لا يوجد أوكسين حر. ولكن عند معاملة هذه الحبوب بقلوى مخفف فإنه يتكون أوكسين حر. وقد أتضح أن هذا الأوكسين يوجد فى صورة جليكو سيدات glycosides حيث يرتبط الأوكسين مع مشتقات السكريات، وعند الإنبات تنتقل هذه المركبات الأخيرة من الحبة إلى قمم غمد الريشة وفى منطقة قمة الغمد تحدث تفاعلات إنزيمية عن طريقها يتم تحرر الأوكسين من مشتقات السكريات فى المركبات الجليكوسيدية.

وقد إتضح حديثاً أن ما سبق صحيح تماماً حيث وجد أثناء إنبات حبوب الذرة يتحول ٩٠ ٪ من المرتبطات مع إندول حامض الخليك عن طريق التحلل hydrolysis إلى إندول حامض خليك حر. وجد أيضاً أن جزء من IAA - myo - inositol ينتقل من الحبة إلى المجموع الخضرى حيث يتحلل وينتج إندول حامض خليك حر. ولذلك فإن للمرتبطات مع إندول حامض الخليك وظائف فسيولوجية عديدة وهى:

١ ـ تعمل المرتبطات كإحدى صور تخزين IAA. حيث يتم تخزين IAA أثناء نضج الحبوب والبذور ويستعمل أثناء الإنبات.

٢ ـ تعمل على نقل IAA من الحبة إلى المجموع الخضرى.

٣ ـ تقاوم تأثير إنزيم البيروكسيديز peroxidase ولا تتأثر به بذلك تعمل على

حماية الأوكسين من التحلل بالبيروكسيديز حيث أن IAA يمكن أن يتأثر بإنزيم البيروكسيديز ويصبح مركب آخر عديم الفاعلية.

٤ ـ عندما يحدث تثبيط لنمو البادرة فإن IAA الحر يختفي و يزداد تركيز IAA المرتبط.

يتضح مما سبق أن تكون IAA المرتبط ثم تحلله ليصبح حر ونشط هي عبارة عن عملية لتنظيم تركيز IAA في النبات.

يختلف تركيز IAA الحر والمرتبط في خلايا النخاع عنه في خلايا الإسطوانة الوعائية وأيضاً تختلف سرعة التحول الغذائي لهذا الأوكسين في النخاع عنه في خلايا الإسطوانة الوعائية في جذور الذرة.

كيف يؤثر الأوكسين على خلايا النبات لحدوث الإستطالة:

من المعروف أنه في الحشرات وبعض الحيوانات الأخرى أنه لكي يحدث نمو فلابد للحشرات من أن تنسلخ وقد يحدث عدة انسلاخات لكي تتمكن من الكبر في الحجم. أما في حالة الخلايا النباتية فإن كل خلية يكون لها جدار خلوي سميك نسبياً وصلب نسبياً وبذلك يمنع الخلية من التمدد أو الإستطالة ولكن من المعروف أن خلايا النبات تستطيل ومعنى ذلك أنه لابد من حدوث تغيرات في تركيب الجدار الخلوي لكي يسمح باستطالة وتمدد الخلايا.

ويمكن تمثيل هذه الحالة بواسطة بالون، فعند نفخ هذا البالون إلى أقصى حد يمكن عمل زيادة في حجم هذا البالون زيادة على الحد المعتاد وذلك بمعاملة جدار البالون بأي مذيب عضوي مناسب يساعد على تمدد جدار البالون وبذلك تكبر البالون في الحجم دون نفخ للهواء ، وهذا ما يحدث أيضاً في حالة الخلية النباتية حيث أن الأوكسينات هامة وضرورية لزيادة حجم وإستطالة الجدر الخلوية. وقد أمكن إثبات ذلك كما هو معروف أنه باستخدام مكعب من الآجار به أوكسين ووضعه على قمة الساق أو الغمد بعد إزالة الجزء القممي فإن الساق يحدث له نمو باستطالة

خلاياه وقد وجد أن إستطالة الخلايا فى النبات وكبرها فى الحجم ترجع إلى حالتين هما:

١ ـ ترجع لوجود ضغط الإنتفاخ Turgor pressure .

٢ ـ ترجع لوجود مطاطية لجدار الخلية Extensibility of cell well .

يمكن تصنيف المطاطية إلى نوعين من الخلية وهما:

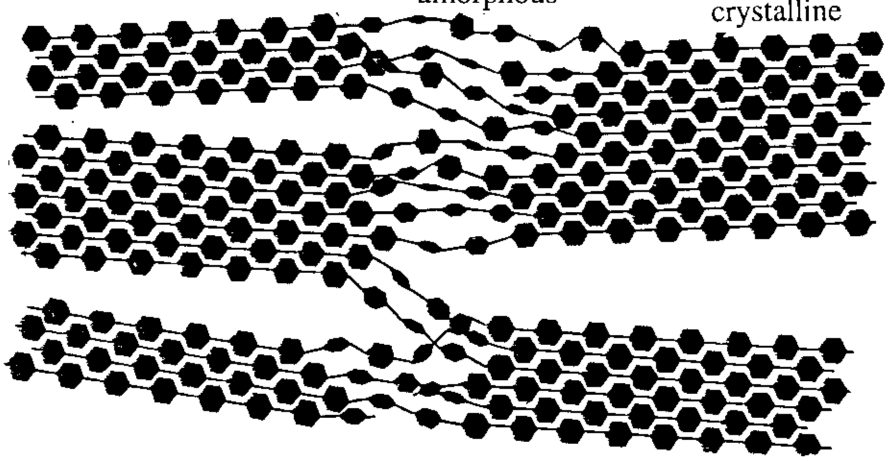
أ ـ مطاطية عكسية Elastic Extensibility وهى عبارة عن مطاطية reversible عكسية أى مثل الاستيك تعتبر المطاطية نتيجة لضغط الإنتفاخ من هذا النوع.

ب ـ مطاطية غير عكسية Plastic Extensibilityوهى عبارة عن مطاطية غير عكسية irreversible أى يتمدد الجدار ولا ينكمش مرة أخرى مثل البلاستيك تعتبر المطاطيه نتيجه للنمو والهورمونات من هذا النوع.

يتكون الإطار التركيبى لجدار الخلية النباتية من السليلوز، والوحدة الأساسية لهذا الإطار هى جزئ السليلوز. وجزئيات السليلوز عبارة عن سلاسل طويلة تتكون من تكاثف مئات كثيرة من جزئيات الجلوكوز وليست جزيئات السليلوز وحدات ذات وزن جزيئى معين، وذلك لأن طول السلاسل غير ثابت. فكثير من جزيئات السليلوز بجدر الخلايا النباتية الحية تبلغ قدراً من الطول بحيث تحتوى على ٥٠٠٠ على الأقل من جزيئات الجلوكوز، بينما يكون غيرها أقصر من ذلك بكثير.

وقد أماطت الدراسة بالأشعة السينية والضوء المستقطب اللثام عن التنظيم الهندسى لجزيئات السليلوز الطويلة فى الجدار الخلوى. ففى بعض المناطق تكون جزيئات السلسلة متوازية تماماً بحيث تكتسب الكثير من خواص البلورات وتسمى بالسيليلوز البلورى crystalline cellulose وتكون أقل تنسيقا فى مناطق أخرى، مكونة ما يعرف بالسليلوز اللابلورى amorphous cellulose. وقد يوجدالجزئ السليلوزى نفسه كجزء من منطقة متبلورة بدرجة كبيرة، ثم يمر بمنطقة غير متبلورة، ثم يستمر فيدخل منطقة أخرى متبلورة (شكل ٥٧) ولا يكون التحول فجائيا بين المناطق المتبلورة (وتسمى هذه المناطق المتبلورة بالجسيمات micelles) والمناطق غير المتبلورة،

وهكذا يكون الجدار عبارة عن نسيج من جزيئات سلسلية طويلة من السليلوز تكون متوازية بدرجات متفاوتة فى أجزاء مختلفة من الجدار.



(شكل ٥٧) : جزء صغير من micelle لويفة صغيرة للجدار الخلوي يتكون من سيليلوز crystalline وسيليلوز amorphous.

ويؤخذ من قياس مخططات الأشعة السينية لبعض ألياف النبات الطبيعية أن للمناطق المتبلرة سمكاً محدوداً إلى حد ما. ويمكن اعتبار الجسيم الواحد كمعين يبلغ سمكه نحو ٥ ـ ٦ ملليميكرونات وطوله ٦٠ ملليميكرونا على الأقل ومعنى هذا بمدلول جزيئات السليلوز أن كل جسيم متبلر عبارة عن حزمة من نحو ١٠٠ ـ١٧٠ من الجزيئات المتوازية، وأن أجزاء الجزئ التى تقع داخل الجسيم تتكون من ١٢٠ وحده على الأقل من الجلوكوز . وقد يرتبط بجزيئات السليلوز فى كثير من الجدر الخلوية جزيئات سلسلية طويلة مكونة من تكاثف سكريات أخرى.

وتتفاوت نسب السليلوز البلورى وغير البلورى على نطاق واسع فى جدر الخلية النباتية. ففى الجدر المغلظة لبعض الألياف النباتية يصل السليلوز المتبلر إلى نحو ٩٠

فى المائة، بينما لا يكون السليلوز المتبلر فى الخلايا الحديثة سوى نسبة صغيرة مما يوجد فى جدرها الآخذه فى الكبر ويبدو أن السيليلوز البلورى لايوجد بتاتاً فى جدر بعض الخلايا الحديثة. ولما كانت التفرقة بين السليلوز البلورى وغير البلورى إنما تتوقف بصفة أساسية على درجة ترتيب الجزيئات، فإن شد الجدار الخلوى أو تجفيفه من شأنه أن يزيد نسبة السليلوز البلورى زيادة كبيرة فى العادة.

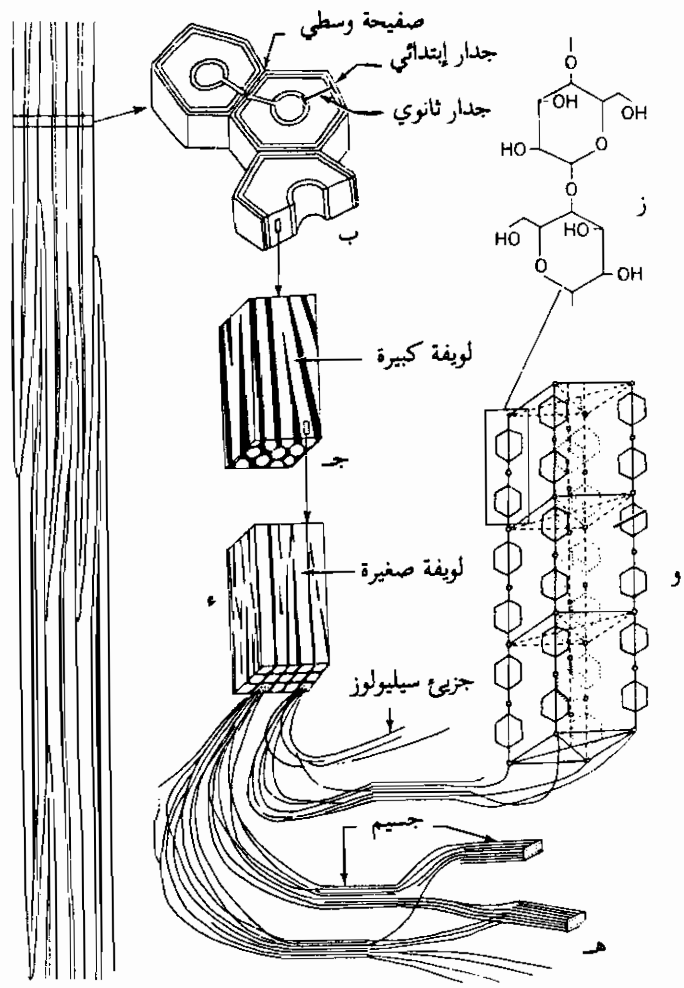
ويؤخذ من شتى الأدلة أن الجسيمات تفصلها فراغات دون مجهرية تؤلف نظاماً متشابكاً يمتد خلال الإطار السليلوزى (شكل ٥٨).

ويتراوح اتساع هذه الفراغات من ملليميكرون واحد إلى نحو ١٠٠ من المليميكرونات، وهكذا تتألف منها ممرات هائلة نسبياً ينساب خلالها ماقد يخترق أجزاء الجدر السيلولوزية من جزيئات منتشرة. وهذه الفراغات مملوءة بمركبات بكتينية فى الجدر الخلوية الإبتدائية، وباللجنين فى الأنسجة الخشبية وبالشموع والكيوتين فى الجدر الكيوتينية. أما الجدر التى تكاد تكون سليلوزية بحتة، كالجدار الثانوى لألياف القطن ، فالفراغات فيها مملوءة بالماء.

وأصغر الوحدات المرئية من الجدر السليلوزية عبارة عن جدائل خيطية دقيقة من الليفات fibrils وهذه الليفات هى حشود من جزيئات وجسيمات كثيرة من السليلوز مرتبة معاً بحيث تتوازى محاورها الطولية مع محور الليفة الطولى.

وتكون هذه الليفات فى الجدر الإبتدائية شبكة دقيقة متواصلة (شكل ٥٨) تملأ فراغها مركبات بكتينية غروية. أما فى الجدر الثانوية فكثيراً ما تتجمع الليفات فى جدائل أغلظ تتفرع وتلتف حول الخلية بصورة (لولب) حاد قد تتباين زاويته فى طبقات مختلفة، بل وفى مختلف أجزاء الطبقة نفسها (شكل ٥٨).

ولقد كان من المتعذر إدراك التفاصيل الدقيقة لتركيب الجدار الخلوى بسبب القيود التى تصادفنا حتى مع أدق الميكروسكوبات البصرية. فحدود القوة النهائية للميكروسكوب البصرى تحددها أطوال موجات الضوء المستعمل، وكلما كان طول



(شكل ٥٨) : تركيب الجدار الخلوي

أ ـ مجموعة من خلايا الألياف .

ب ـ قطاع عرضي في ثلاثة خلايا ألياف ويتكون الجدار الثانوي من ثلاث طبقات .

جـ ـ جزء من الجدار يحتوي علي عدد من اللويفات الكبيرة .

ء ـ جزء من لويفة كبيرة يحتوي علي عديد من اللويفات الصغيرة ..

هـ ـ جزء من لويفة صغيرة يتكون من جسيمات عديدة وجزيئات سيليلوز .

و ـ جزء مكبر من جسيم يوضح الترتيب المعيني لجزيئات الجلوكوز .

ز ـ جزيئ سيللوبيوز يتكون من وحدتين جلوكوز.

الموجة أقصر كانت القوة النهائية أكبر. ولذلك فإنه يمكننا أن نرى أو نصور الأشياء التى كان يتعذر رؤيتها فى المجهرا لمركب المعتاد لو أننا أستطعنا أن نوجد طريقة نستخدم بها أطوالا موجية من الإشعاع أقصر بكثير من أطوال موجات الطيف الضوئى. وقد تحققت مثل هذه الطريقة فى الميكروسكوب الإلكترونى. ففى هذه الحاله نستخدم بدلا من الضوء حزماً من الإلكترونات يتم تجميعها فى البؤرة مغناطيسياً. وتقل الأطوال الموجية للحزم الإلكترونية التى تستخدم بكثرة عن جزء من أربعة آلاف من طول أقصر أطوال موجات الطيف المرئى. ولما كانت الأطوال الموجية التى نستخدمها فى الميكروسكوب الإلكترونى قصيرة للغاية، فإننا نستطيع أن نحصل على صور واضحة لأشياء أدنى بكثير من القوة النهائية لأفضل الميكروسكوبات البصرية. وتؤكد الصور الضوئية المأخوذة بالميكروسكوب الإلكترونى لجدر الخلية النباتية الأشكال التركيبية العامة التى تم أستنباطها من مصادر استدلال أخرى (شكل ٥٨).

تختلف الخواص الفيزيقية للجدر الخلوية الإبتدائية اختلافا واضحاً عن خواص الجدر الثانوية. فالجدر الإبتدائية فى العادة طيعة مرنة للغاية. والمعروف مثلا أن خلايا الميزوفيل لبعض أنواع تعانــى تغيرات انعكاسية فى الحجم تبلغ ٣٠ فى المائة أو أكثر نتيجة لتغيرات ضغط الإمتلاء. ويرجع الفضل فى طواعيه الجدر الإبتدائية إلى الكمية الكبيرة من السليلوز اللابلورى فى هذه الجدر وإلى المجموعة الواسعة من المسافات التى بين الخلايا واللييفات المملوءة بمركبات جيلاتينية بكتينية محبة للماء. وتتميز الجــدر الثانوية بانخفاض المرونة ونقص الطواعية، خلافاً لما سبق وصفه من خواص تعتبر نموذجية بالنسبة للجدر الإبتدائية. وترجع قوة الجدر الثانوية وصلابتها إلى وجود السليلوز فى هذه الجدر بكميات أكبر وإلى النسبة العالية من السليلوز المتبلر. والجدر الإبتدائية والثانوية كلاهما شفافة بالنسبة لأطوال موجات الطيف المرئى.

يمكن تلخيص ما سبق أن الجدار الخلوى عبارة عن هيكل شبكى من سلاسل من السليلوز تتجمع كل مجموعة من هذه السلاسل فى حزمة bundle و وفى كل

حزمة مناطـــق للسيليلوز البلورى أى المتبلور crystalline ومناطق أخرى للسيليلوز غير البلورى amorphous cellulose . تتجمع هذه الحزم فى مجاميع وكل مجموعة تسمى لويفة صغيرة microfibril وتسمى أيضاً لييفة fibril ,ولكن الآن يفضل التسمية لويفة صغيرة عن تسمية اللييفة. تفصل اللويفات الصغيرة عن بعضها فراغات.

كما قد تتجمع اللويفات الصغيرة فى الجدر الثانوية فى لويفات كبيرة macrofibrils (شكل ٥٨) تفصلها أيضا فراغات تترسب بهذه الفراغات المختلفة مواد مختلفة تختلف حسب نوع و عمر الخلية، ففى الجدر الإبتدائية تمتلئ الفراغات أساساً بمركبات بكتينية وفى جدر الأنسجة الخشبية والأسكلر انشيمية تمتلئ الفراغات أساساً باللجنين وفى جدر البشرة يترسب الكيوتين وفى جدر خلايا الفلين يترسب السيوبرين.

وظيفة الجدار الخلوى هو حفظ مكونات الخلية بداخلة كما أنه يعطى الخلية صلابة ومتانة.

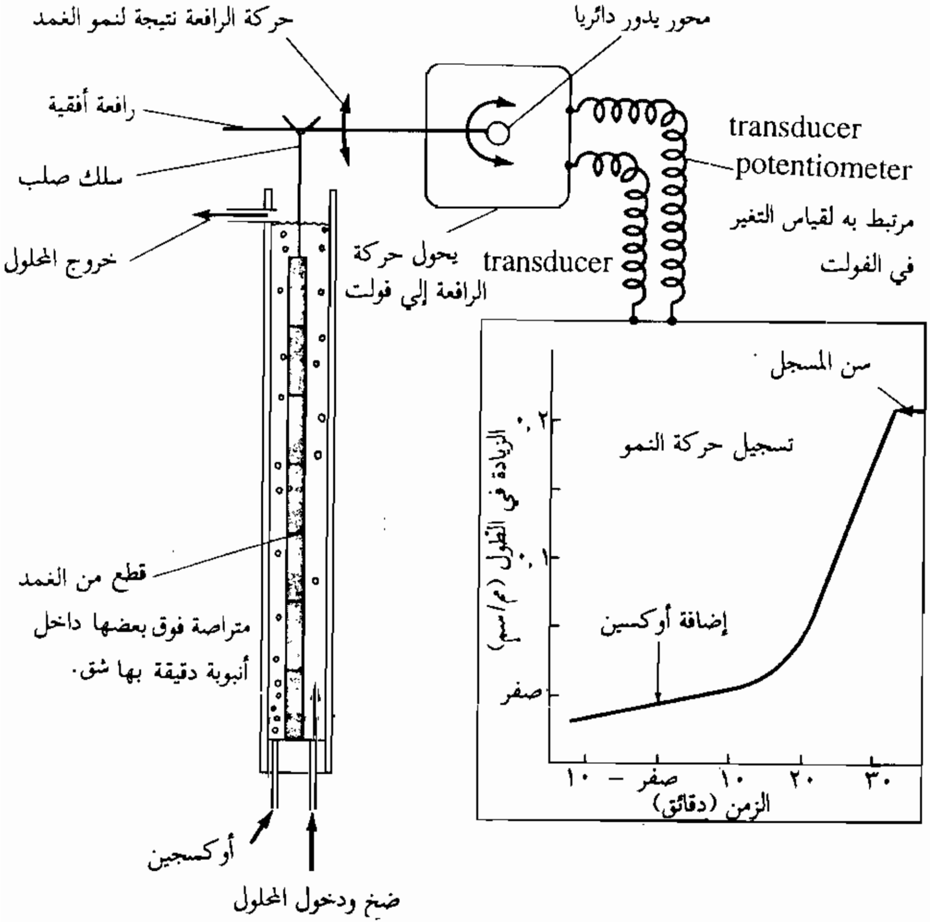
تعتبر مطاطة الخلية نتيجة لضغط الإنتفاخ أى ضغط الإمتلاء (كلاهما يستعمل بكثرة لوصف إمتلاء الخلية بالماء وضغطها على الجدار الخلوى فتسبب تمدده وإنتفاخ الخلية) هى نتيجة تمدد جدار الخلية وتعتبر هذه الحالة هى مطاطية أستيكية أى عكسية أى رجعية elastic or reversible extensibility ويحدث ذلك نتيجة لشد أو لفرد جزيئات السيليلوز غير البلورى وعند زوال ضغط إنتفاخ أى ضغط إمتلاء الخلية على الجدار يتم إرتخاء جزيئات السيليلوز مرة أخرى. وهكذا يحدث إنكماش لجدار الخلية ويقل إنتفاخ الخلية. يمكن أن يحدث ذلك مرات كثيرة فى عمر الخلية فى النبات نتيجة لتغير العلاقات المائية للخلية. مما سبق يتضح أن ضغط الإنتفاخ أى ضغط الإمتلاء ينتج عنه مطاطية أستيكية أى عكسية.

وقد وجد أن تأثير الأوكسينات على جدار الخلية هو من النوع البلاستيك أى مطاطية غير عكسية أى غير رجعية أى بلاستيكية plastic extensibility.

وقد ساد الإعتقاد بأن تكون الإستطالة نتيجة لنشاط أنزيم السيليوليز ولكن ثبت خطأ هذا الإستنتاج حيث أن الخلية تستطيل فعلاً قبل حدوث أى نشاط لأنزيم السيليوليز ويحدث ذلك النشاط لهذا الأنزيم بعد ساعة أو بعد ساعات قليلة من المعاملة بالأوكسين. ومن الثابت أن هذا الإنزيم له تأثير على عملية الاستطالة ولكن هذا التأثير فى مرحلة متأخرة من عملية استطالة الخلايا حيث يبدأ أولا استطالة للخلايا ثم يلى ذلك نشاط الإنزيم. ولقياس النمو الفعلى وبأسرع ما يمكن بعد إضافة الأوكسين فقد صمم جهاز لذلك كما فى الشكل (شكل ٥٩). وبهذا الجهاز يمكن دراسة التغيرات التى تطرأ على النمو الطولى مباشرة وفى حدود ثوانى مـن حدوث النمو. فقد وجد بواسطة هذا الجهاز أنه لا يوجد نمو محسوس بعد ١٠ ـ ١٥ دقيقة من إضافة الأوكسين وبعد ذلك تزداد سرعة النمو حتى أقصى سرعة بعد ٣٠ دقيقة ولذلك فإن أى تغيرات لا يمكن ملاحظتها فى حدود أقل من ساعة من زمن المعاملة لا يمكن أن تعتبر ضمن تأثير الأوكسينات على حدوث النمو وذلك على الأقل فى المرحلة الأولى.

وشرح هذا الجهاز هو عبارة عن أنبوبة اسطوانية يوجد لها سدادة من أسفل تخترق هذه السدادة أنبوبتين أحدهما لإدخال الأوكسجين والأخرى لإدخال محلول الأوكسين وبداخل هذه الأنبوبة توجد أنبوبة أخرى بها شق طولى ويوضع بداخلها أجزاء من أغماد مقطوعة مرتبه فوق بعضها والجزء الطرفى من الغمد يتصل بسلك وهذا السلك يتصل برافعة أفقية. وهذه الرافعة متصلة بجهاز transducer ليسجل حركة الرافعة ويحولها إلى فرق فى الجـهد والفولت ولـذلك يتصل هـذا الـ transducer بـ potentiometric recorder ليسجل الإختلاف فى الجهد أو الفولت. يتم تسجيل ذلك بواسطة رسم منحنى على ورقة رسم بيانى بواسطة سن للريكوردر به مداد. ويتضح من رسم المنحنى وحيث أنه على المحور الصادى يوجد الزيادة فى النمو الطولى للأغماد بالمللى لكل سم من الغمد، والمحور الصادى الزمن بالدقائق بعد وضع الأوكسين. يتضح من المنحنى أنه بعد ١٠ دقائق إلى ١٥ دقيقة

من وضع الأوكسين فإنه لا يحدث زيادة محسوسة فى النمو أو الإستطالة ولكن بعد ذلك تزداد سرعة الإستطالة والنمو بدرجة كبيرة حتى تصل أقصى سرعة لها بعد ٣٠ دقيقة.



(**شكل ٥٩**) : جهاز لقياس التغيرات السريعة للنمو في غمد الريشة لنبات الشوفان نتيجة إضافة إندول حامض الخليك إلي محلول منظم عند درجة pH ٦,٥

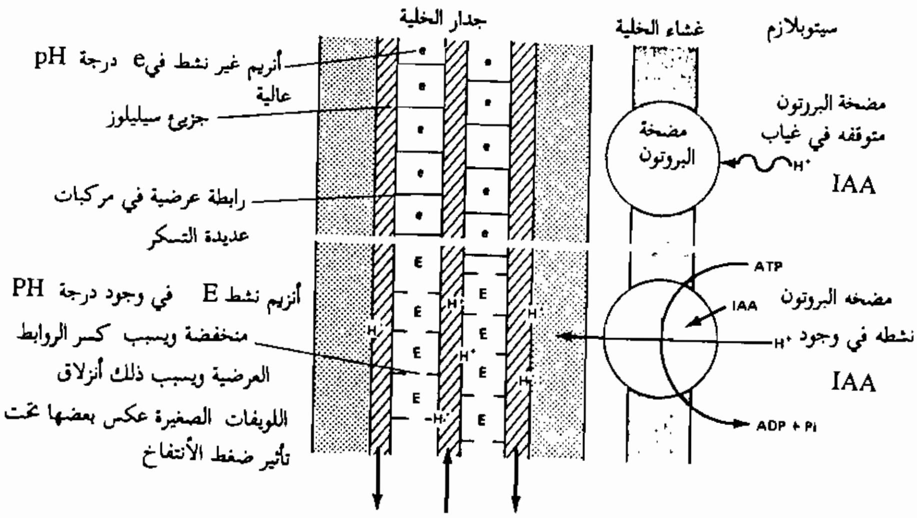
ماهى التغيرات التى تحدث فى هذا الوقت القصير نسبياً ليحدث إستطالة فى الخلايا؟

للإجابة على هذا السؤال لوحظت إحدى الظواهر وذلك فى الثلاثنيات، وقد أهملت طول هذه الفترة ولكن أعيد اكتشافها فى السبعينيات. وأن هذه الظاهرة هى أن البيئة الحامضية تساعد على استطالة الخلايا فإذا وضع قطع من الساق أو الغمد فى الجهاز السابق وأحيط بوسط حامضى فإن النمو يزداد وإذا عمل سلخ لبشرة هذه الأجزاء لتسهل دخول السائل الحامضى الموجود فى البيئة إلى الأجزاء النباتية وفى pH حوالى ٥,٠ فإن النمو يكون أسرع ما يمكن بإستطالة الخلايا. وإذا قتلت هذه الأجزاء النباتية واختبرت ميكانيكيا فى درجة قابليتها للاستطالة وذلك بشد طرفيها فإن الاستطالة تكون أسهل عند وجودها فى بيئة حامضية عند حوالى PH = ٣,٥ بينما تكون هذه الإستطالة أصعب فى بيئة فيها PH = ٠٧,٠ ومن ذلك يتضح أن تأثير الحموضة على الخلايا لا يحتاج إلى خلايا نشطة ولكنها حالة مباشرة لتأثير أيونات الأيدروجين على مكونات جدار الخلية. أما العلاقة بين الحموضة والأوكسين فقد وجدت أنها علاقة واحدة حيث أن كلاهما يؤثر على إستطاله الخلايا ولكن وجد أن الحموضة تؤثر مباشرة على جدار الخلية بينما الأوكسين يؤثر على البروتوبلازم والأجزاء الحية فى الخلية وأن تأثير الحامض فى الإستطالة ينتهى بعد مدة وجيزة بينما تأثير الأوكسين على الإستطالة ينتهى بعد عدة ساعات على الأقل.

ويمكن شرح ذلك حيث وجد أن الأوكسين يجعل بيئة الجدار الخلوى حامضية وأن الحموضة تسبب بطريقة معينة فك السلاسل من بعضها للجدار وهذا الإستنتاج لا يفسر إستطالة الخلايا تماماً بل يفسر فقط الخطوات الأولى لأن الإستطالة تسبب رقة فى الجدار لذلك لابد من تخليق مركبات أخرى ليحافظ الجدار على سمكه، وهذه الحالة غير موجودة إذا استعمل الحامض فقط حيث أنه لا يسبب تخليق مركبات جديدة بل أن تخليق مركبات جديدة لابد أن يحدث فى وجود الأوكسين الذى يساعد فى ذلك.

ومن المعروف أن العناصر والسكريات والهورمونات وأيونات الأيدروجين تدفع إلى داخل الخلية وذلك بواسطة النقل النشط وقد وجد أيضا أن الجزء المسئول والذى

يعمل على ضخ أيونات الأيدروجين من داخل الخلية ودفعها إلى الخارج أى إلى جدار الخليه هو عبارة عن مضخة تتكون من البروتين موجوده فى غشاء الأكتوبلاست ولكن هذه العملية تحتاج إلى طاقة. تنتج هذه الطاقة من هدم أو تكسير ATP الذى يوجد فى الخلية إلى ADP ثم يتحرر المركب الأخير وفى الخلية يتحول مرة أخرى إلى ATP نتيجة لعمليات التحول الغذائى (شكل ٦٠). وأهمية الأوكسين هنا وهو IAA بالتحديد هو أنه يرتبط بهذه المضخة البروتينية ويعمل كمنشط لهذه المضخة البروتينية وفى عدم وجود الأوكسين فإن المضخة تتوقف عن العمل ويكون تأثيرها ضعيف أو معدوم. إرتباط IAA بالمضخه أو إنفصاله عنها وبحرية تامه وذلك تبعا لإحتياج الخليه. وهذه النظرية صحيحة حيث وجد أن غمر أجزاء الساق المسلوخة (أى التى نزعت بشرتها فقط) فى محلول لايوجد حولها بيئة حامضية إلا عند معاملتها بإندول حامض الخليك ولكن حتى الآن لم يتم الإجابة عن السؤال الآتى وهو.



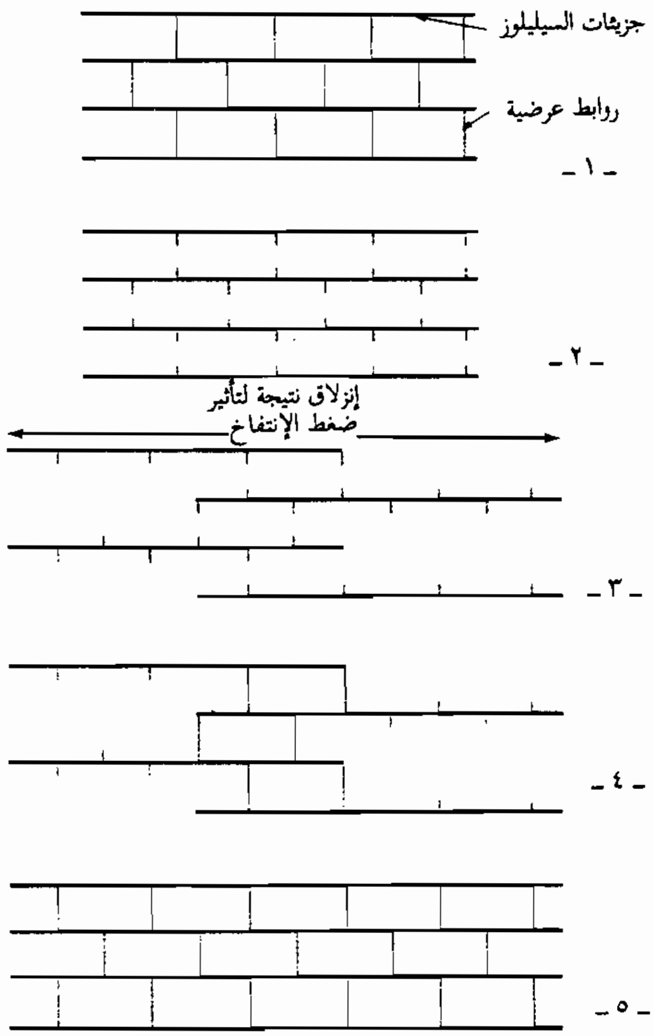
(**شكل ٦٠**) : نظرية مضخة البروتون proton pump توضح دور أندول حامض الخيك في مطاطية وأستطالة جدار الخلية.

ما السبب فى أن الحموضة تسبب إستطالة الخلايا ؟

من المعروف أن الجدار الخلوى يتكون أساساً من مركب السيليلوز وهو عبارة عن سلاسل طويلة من السيليلوز متصلة ببعضها بواسطة روابط عرضية عديدة التسكر polysaccharides وهذه الروابط تتكون أساساً من مركب هيميسيليلوز hemicellulose حيث أن هذا المركب عبارة عن خليط من سلاسل من السكريات مثل الجالكتوز والأرابينوز والزيلوز ولأن سلاسل السيليلوز مرتبطة ببعضها بهذه الروابط ولذلك فإن الجدار صلب. لكى يتمدد جدار الخلية وينمو فإنه لابد من كسر هذه الروابط لكى تنزلق كل سلسلة على الأخرى خلف خلاف ليحدث تمدد وإستطاله الجدار ثم تتكون جزيئات سيليلوز جديدة ثم تتكون الروابط مرة أخرى (شكل ٦١).

وقد اقترح لكسر الروابط أنزيم يعتمد على درجة pH يكسر هذه الروابط العرضية بين جزيئات السيليولوز ويكون هذا الأنزيم غير نشط فى pH من ٦ ـ ٧ ولكن أقصى نشاط يكون pH = ٥ ولذلك فإنه عند ضخ أيونات الأيدروجين بواسطة البروتين فى وجود الأوكسين من السيتوبلازم إلى الجدار ينشط الأنزيم ويكسر الروابط العرضية ونتيجة لوجود ضغط الإنتفاخ فى الخلية فإن سلاسل السيليلوز تكون حرة فى أن تنزلق خلف خلاف أى كل جزئ ينزلق فى اتجاه عكسى للجزيئ الذى يليه وبذلك يحدث النمو وتستطيل الخلية ولكن للأسف حتى الآن لا نعرف شئ عن طبيعة هذا الأنزيم وهذا هو الجزء الإفتراضى الوحيد فى هذه النظرية (شكل ٦٠ و ٦١).

وجد أن إستطالة الخلايا تحدث لمدة صغيرة نتيجة لوجود الحموضة المناسبة أما فى وجود الأوكسين فإن الإستطالة تحدث لمدد طويلة أى عدة ساعات ولذلك ماهى المدة التى يمكن أن يحدث فيها عملية تنشيط إستطالة الخلايا بكفاءه فى وجود الأوكسين؟



(شكل ٦١) : كيفية إستطالة جدار الخلية تحت تأثير الأوكسين.

١ ـ جدار خلوى عادى.

٢ ـ كسر الروابط العرضية في الجدار.

٣ ـ تنزلق جزيئات السليلوز خلف خلاف على بعضها نتيجة لوجود ضغط الإنتفاخ.

٤ ـ تكوين الروابط العرضية مرة أخرى في الأجزاء المتقابلة بعد الإنزلاق.

٥ ـ تخليق المركبات اللازمة لأكتمال تركيب الجدار وبحيث يصبح الجدار له نفس السمك ولكنه أكثر طولا.

وجد أنه عند معاملة الغمد بمادة مثبطة لتكوين البروتين مثل سيكلوهكسيميد cycloheximide عند معاملة الغمد أو أجزاء الساق بهذا المركب وبعد فترة طويلة نسبيا يضاف الأوكسين فإن الأخير ينشط نمو الخلايا وذلك بحدوث عملية ضخ الأيدروجين للجدار الخلوى لمدة حوالى ١٥ دقيقة وقد وجد أن المعاملة العكسية وهى المعاملة بالأوكسين للغمد وبعد زمن معين يوضع المركب المثبط لتكوين البروتين وهو cycloheximide وفقد وجد أيضا أن ذلك يحتاج إلى ١٥ دقيقة ومن ذلك يتضح أن كفاءة الأوكسين تستمر لمدة ١٥ دقيقة سواء عومل الغمد به قبل المعاملة بالسيكلوهكسيميد أو عومل الغمد به بعد المعاملة بالسيكلوهكسيميد. ومن ذلك يتضح أن توقف هذه العملية راجع إلى توقف مضخة البروتين الموجودة فى الغشاء البلازمى حيث أن المدة ١٥ دقيقة ثابتة فى كلا الحالتين. يتضح مما سبق أن المركب المثبط لتخليق البروتين وهو سيكلوهكسيميد يمنع تخليق بروتين جديد ولكنه لا يؤثر على البروتين الموجود فعلا ولذلك فإن دور الأوكسين فى هذه العملية يمتد لمدة ١٥ دقيقة حيث أنه ينشط بروتين المضخة لفترة وجيزة لمدة ١٥ دقيقة فقط وكان يمكن أن تزيد المدة عن ذلك. ويتضح من ذلك أيضاً أنه لكى تستمر عملية إستطالة الخلايا فلابد من وجود إستمرارية لتخليق البروتين والذى يتكون منه بروتين المضخة الموجود فى الغشاء البلازمى أى الإكتوبلاست وأيضاً باقى أنواع البروتين فى الخلية وأيضاً إستمرارية لتخليق إندول حامض الخليك. يتضح أيضاً أن حيوية مضخة البروتين فى الغشاء البلازمى تكون محدودة بمدة وجيزة وأنها تفسد وتحتاج إلى بروتين متجدد بإستمرار لكى تعمل المضخة على الوجه الأمثل فى ضخ أى نقل أيونات الأيدروجين فى عكس منحدرات التركيز من داخل الخلية إلى الخارج أى إلى الجدار. مما سبق يتضح أن عمر بروتين المضخة قصير حوالى ١٥ دقيقة وأن هذا البروتين متجدد بإستمرار لتكوين بروتين المضخة والدليل على ذلك أن منع تخليق بروتين جديد بواسطة المثبط منع عمل بروتين المضخة بعد فترة وجيزة يعنى ذلك أن بروتين المضخة قصير العمر والحيوية short - lived وحتى فى وجود الأوكسين.

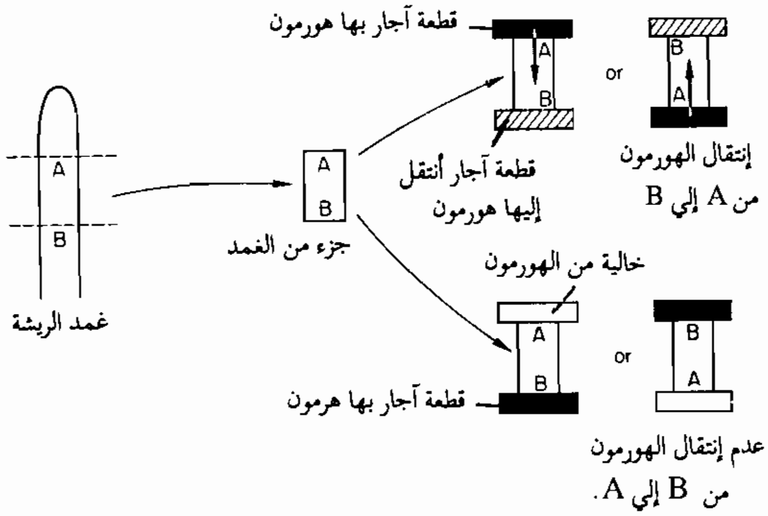
يمكن القول أيضاً أن الأوكسين له دور فى تنشيط الأنزيمات التى تشترك فى تخليق مركب السيليلوز وأن هذه الأنزيمات موجودة فى غشاء الخلية وفى أغشية حوصلات جهاز جولجى dictyosome vesicles. ولذلك فإنه فى حالة الخلايا التى تستطيل طوليا فلابد من وجود جزيئات سيليلوز جديدة لكى تملأ الأماكن الفارغة فى جدار الخلية وذلك لكى يحافظ جدار الخلية المتمدد أى النامى على سمكه. وإذا لم يحدث ذلك فإن الجدار المتمدد لدرجة كبيرة يمكن أن يتمزق وتصبح الخلية عديمه الجدار بالطبع لا يحدث ذلك فى الخلية حيث أنه تتكون وحدات جديدة لبناء الجدار والمحافظة على سمكه (شكل ٦١) وأيضاً لابد من تكوين جزئيات هيميسيليلوز جديده لتتكون الروابط العرضيه.

ولذلك يمكن القول أن الأوكسين أيضاً له دور فى تخليق مركبات جديدة ومنها جزيئات السيليلوز الجديدة التى ستحل محل الفراغات الموجودة فى الجدار الجديد الرقيق. كما وجد أيضاً للأوكسين تأثير فى تكوين أنواع معينة من RNA وأن هذه المركبات الأخيرة هامة فى تكوين البروتين اللازم للإنزيمات واللازم أيضاً لتكوين البروتينات الأخرى. ومن المعروف أن جزء كبير جداً من كل إنزيم عبارة عن بروتين، ولذلك فهو لازم أيضاً لتخليق البروتين الذى يتكون منه مضخة أيونات الأيدروجين الموجودة فى الغشاء البلازمى. يؤثر الأوكسين على زيادة وتنشيط تخليق البروتين وذلك بتنشيط تخليق mRNA فى النواه.

كيفية إنتقال إندول حامض الخليك:

من المعروف أن إنتقال الأوكسينات الطبيعية ومنها IAA هو إنتقال قطبى polar translocation. والإنتقال القطبى معناه إنتقال الأوكسين فى إتجاه واحد فقط وليس فى الاتجاه العكسى. ومن التجارب السابقة جميعها يتضح أن إنتقال الأوكسين قطبى من أعلى إلى أسفل فقط وليس فى الإتجاه العكسى وأن ذلك غير راجع للجاذبية الأرضية على الإطلاق بل هو نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة ويوجد لذلك نظريات ولكن من الثابت أن هذه العملية لها علاقة بعمليات التحول الغذائى الهوائية

aerobic metabolism وأيضاً لابد من وجود خلايا حية بها أغشية خلوية وعامة فإن النقل النشط active transport له دور فى هذه العملية (والنقل النشط معناه نقل الجزيئات أو الأيونات فى عكس منحدر تركيزها وذلك يحتاج إلى طاقة تستمد من التنفس ولذلك يسمى بالنقل النشط). وفيما يلى تجربة تثبت أن الإنتقال قطبى غير راجع للجاذبية الأرضية وذلك كما فى الرسم (شكل ٦٢).

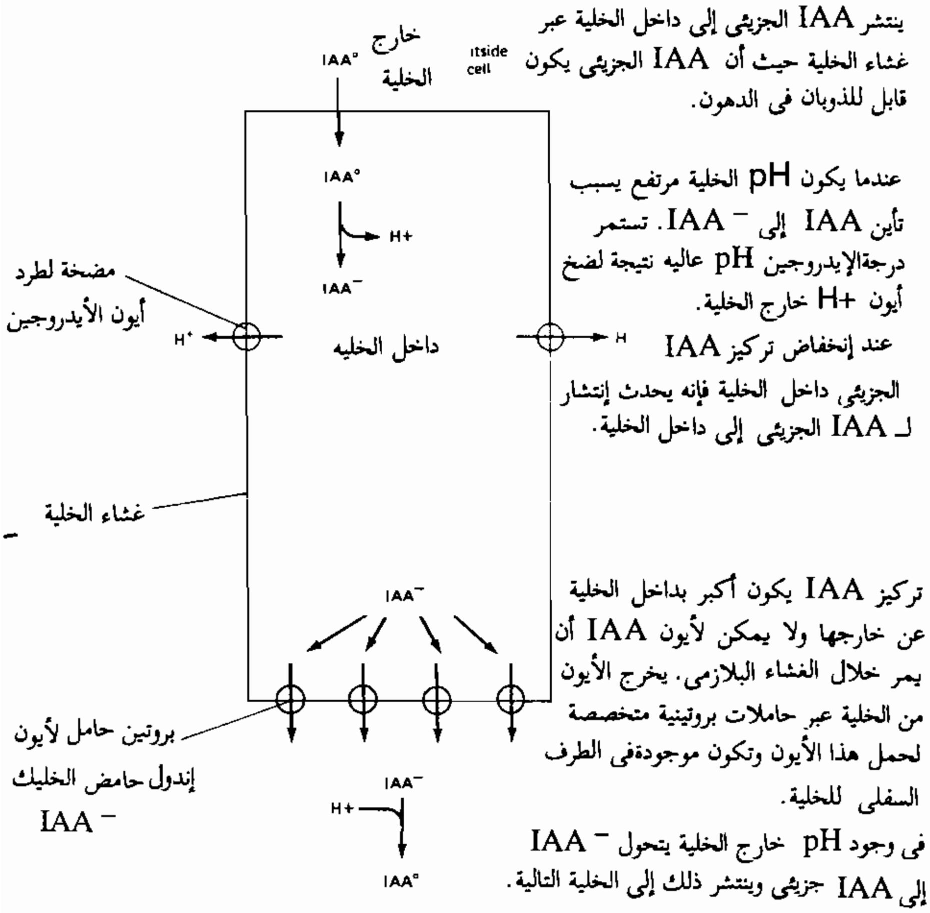


(شكل ٦٢) : القطبية في إنتقال أندول حامض الخليك .
يلاحظ أن الأوكسين ينتقل في إتجاه واحد من A إلي B وليست العكس دون تأثير للجاذبية الأرضية أو الإتجاه جزء الغمد .

ولإثبات ذلك أنه عند إزاله قمة الغمد وأخذ الجزء التحت طرفى subapical من الغمد وعند وضع هذا الجزء المقطوع بوضعه الطبيعى نعطى للجزء العلوى الحرف A والجزء السفلى الحرف B وبعد ذلك نستعمل مكعب من الآجار به IAA ففى الرسم العلوى يوجد حالتين عند وضع الآجار المحتوى على الأوكسين على الطرف A سواء هذا الجزء من الغمد فى وضعه العادى أو فى وضعه المقلوب فإن الأوكسين ينتقل فى كلا الحالتين من الطرف A إلى الطرف B دون أى تأثير للجاذبية الأرضية. وفى الحالتين الأخيرتين فى الجزء السفلى من الرسم عند وضع الآجار المحتوى على

الأوكسين على الطرف B وذلك فى الجزء من الغمد فى الوضع العادى أو فى الوضع المقلوب فإنه لن يحدث إنتشار للأوكسين من طبقة الآجار إلى طبقة الآجار الخالية منه وهاتين التجربتين تثبتا بما لا يدعو إلى الشك أن IAA وأيضا الأوكسينات الطبيعية تنتقل قطعياً فى إتجاه واحد من أعلى إلى أسفل فى الخلايا البارنشيمية والمرستيمية وليس فى الإتجاه العكسى مطلقاً ذلك غير راجع أو متأثر بالجاذبية الأرضية بل أنه نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة. هذا الإنتقال القطبى واضح فى الغمد والساق وبدرجة أقل فى أعناق الأوراق.

غير معروف بالضبط ميكانيكية الإنتقال القطبى للأوكسينات ولكن يمكن أن تشمل مايأتى. ينتشر الأوكسين من قاعدة خلية إلى قمة خلية ملاصقة لها أسفلها (شكل ٦٣) فى الخلايا البارنشيمية فى صورة جزيئات. وحيث أن سيتوبلازم الخلية متعادل تقريباً وأن الجدار الخلوى حامضى قليلاً فإن إندول حامض الخليك بداخل الخلية يصبح أيون يحمل شحنه سالبة نتيجة لخروج أيون أيدروجين موجب. ولذلك يتكون فرق أى منحدر إنتشار وينتشر إندول حامض الخليك الجزيئى من خارج الخلية إلى داخلها حيث أن تركيز هذا الأوكسين الجزيئى خارج الخلية أكبر من تركيزه داخل الخلية ويتبع ذلك قوانين الإنتشار العادية. إندول حامض الخليك الأيونى غير قابل للذوبان فى الدهون ولذلك لا ينتشر إلى خارج الخلية بينما يستمر إنسياب وإنتشار إندول حامض الخليك الجزيئى إلى داخل الخلية. يمكن نقل أيونات إندول حامض الخليك من داخل الخلية إلى خارجها وذلك بواسطة حوامل بروتينية متخصصة specific carrier proteins موجودة فى الغشاء البلازمى فى الجزء القاعدى من الخلية. حيث أن هذه الحوامل تلتقط إندول حامض الخليك الأيونى من داخل الخلية وتحملها عبر الغشاء البلازمى إلى خارج الخلية. وحيث أن تركيز الأوكسين الأيونى عال بداخل الخلية ومنخفض خارجها فإن الحامل البروتينى يعمل كممر turnstiles ينساب خلاله الأوكسين الأيونى من الداخل إلى الخارج إلى خلية أخرى سفلية حيث أن هذه حوامل البروتين إفتراضية (لم يثبت وجودها حتى



(شكل ٦٣): تفسير الإنتقال القطبي للأوكسين.

الآن) توجد فى قاعدة الخلية فقط فإن الأوكسين ينساب من قمة الخلية إلى قاعدتها. تحتاج هذه العملية نقل نشط للمحافظة على pH معتدل للخلية وليست حامضى ولذلك فإن نقل أيونات الإيدروجين إلى خارج الخلية يحتاج إلى طاقة عالية تستمد من جزيئات ATP. فى pH خارج الخلية يتم تحول إندول حامض الخليك الأيونى خارج الخلية إلى إندول حامض الخليك جزيئى نتيجة إتحاد الأوكسين الأيونى مع أيون أيدروجين.

أما عن مكان إنتشار الأوكسين فى النبات فهو الخلايا البارنشيمية للقشرة أو النخاع كما ينتقل أيضا عن طريق الأنسجة الوعائية وفى اللحاء والكمبيوم على وجه التحديد حيث أن إنتقال الماء والذائبات يكون فى الخشب من أسفل إلى أعلى وذلك على العكس تماماً من إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل وعلاوة على ذلك فإن نسيج الخشب نسيج ميت لايوجد به أى تفاعلات حيوية أو حتى أغشية بلازمية وهى من لوازم هذا الإنتقال. لذلك لايمكن أن يكون نسيج الخشب هو المسئول عن إنتقال الأوكسين حيث أن الخشب نسيج ميت فإنه لا يتحكم فى الإنتقال ولذلك إذا كان الإنتقال عن طريق الخشب فيكون إنتقال الأوكسين فى إتجاهين وهذا خطأ. ولذلك فإنه يعتقد أن الإنتقال يحدث أيضا فى نسيج اللحاء وهو نسيج حى خلاياه حية بها تفاعلات غذائية هوائية تحدث فى ظروف هوائية وعلاوة على ذلك فإنه به أغشية خلوية كثيرة وفيه أيضاً ظاهرة النقل النشط موجودة وواضحة. الإنتقال القطبى واضح فى الساق وأيضا فى حاله الجذر سرعة إنتقال الأوكسين تصل ١ ـ ١,٥سم/ساعة فى الساق وحوالى ١,. -٢,. سم/ساعة فى الجذر. إتجاه إنتقال الأوكسين فى الجذر من قاعدة إلى قمة الجذر عادة وبذلك يكون قطبى فى إتجاه القمه.

تركيز أندول حامض الخليك النشط فى النبات:

من المعروف أن حبوب النجيليات لا تحتوى على أوكسين حر وقد وجد أن معاملة هذه الحبوب بمركب قلوى يساعد على ظهور الأوكسين ولكن ما يحدث فى الإنبات يختلف عن ذلك ففى الحبة العادية يوجد إندول حامض الخليك على هيئة IAA-glycosides وهى عبارة عن مركبات تتكون من إتحاد إندول حامض الخليك مع سكريات أو مشتقاتها ولذلك فإنه عند الإنبات تنتقل هذه المركبات IAA-glycosides إلى القمة النامية لغمد الريشة ونتيجة تفاعلات أنزيمية فى هذه المنطقة يتحرر IAA ويظهر تأثيره كما سبق ذكره وشرحه فى تجارب الرواد الأوائل لاكتشاف الهرمونات النباتية ومن هنا يجب التنويه على أن مصدر IAA فى غمد

الريشة لنبات الشوفان وغيرها من النباتات النجيلية هو جليوكوسيدات إندول حامض الخليك الموجودة فى الحبة وإما قمة الغمد فإنها فعالة فى عمل تفاعلات إنزيمية لتحرر IAA وبذلك يتضح أن الهورمون الحر القابل للانتشار هو الفعال فى حدوث الإنتحاء.

وقد وجد أيضا أن أوكسين IAA وشأنه شأن المركبات الهرمونية الأخرى قد يوجد فى السيتوبلازم فى صورة حرة ولكن قد يوجد فى الفجوة العصارية فى حالة غير قابلة للحركة immobile حيث ثبت أنه فى بعض النباتات يوجد هذا المركب أيضاً علاوة على السيتوبلازم فى الفجوة العصارية ويكون من الصعب خروجه من الفجوة والاستفادة منه ولذلك فإن تقدير التركيز الكلى للهرمونات أو الأوكسينات غير هام لدراسة تأثيرها بالمقارنة إلى مكان وجود الأوكسين فى الخلية وهذا ما يطلق عليه compartmentlization أى مكان وجود الأوكسين، ولذلك فإن استخلاص الأوكسينات بطريقة المذيبات العضوية يعمل على استخلاص الأوكسين الكلى وقد يكون هذا التركيز الكلى مضلل إذا لم يؤخذ فى الاعتبار مكان وجود هذا الأوكسين فى أجزاء الخلية المختلفة.

ولذلك فإن تركيز الأوكسين فى نسيج معين من النبات يتوقف على عدة عوامل وهى كما يأتى:

١ ــ سرعة وكمية تخليق الأوكسين فى القمم النامية أو المناطق الميريستيمية.

٢ ــ سرعة إنتقال وكمية إنتقال الأوكسين إلى المكان المحدد.

٣ ــ حالة وجود الأوكسين ومدى وجود وحدوث حالة compartmentlization.

٤ ــ مدى كفاءة ونشاط الإنزيمات المحللة لـ IAA.

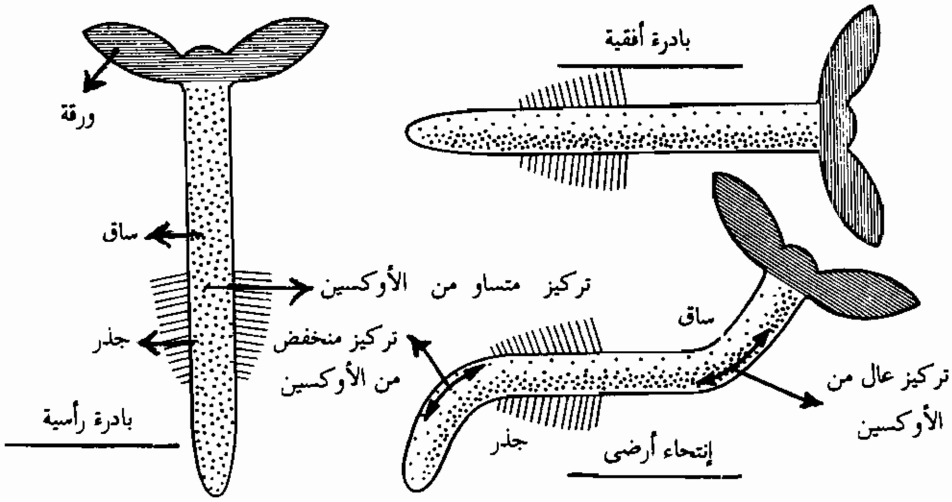
٥ ــ مدى وكفاءة وسرعة حدوث عمليات إزالة السمية detoxification reactions.

وعامة فإنه من المعروف أن تركيز الهرمونات يكون عالى فى القمم النامية للساق والفروع والمناطق القريبة منها ويقل تركيزه كلما ابتعدنا عن هذه المناطق ويكون

للجذر حالة خاصة حيث أن الأوكسين ينتقل من الساق إلى الجذر ولذلك يكون تركيز الأوكسين مرتفع فى قاعدة الجذر ويقل تركيزه كلما إتجهنا إلى القمم النامية للجذر أى حالة عكسية للساق.

الإنتحاء الأرضى Geotropism :

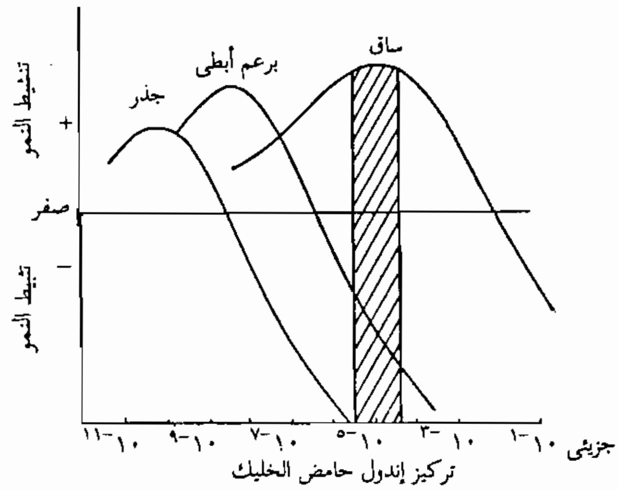
عند إنبات البذور أياً كان وضعها فى التربة فنجد دائماً أن الجذير ينمو إلى أسفل أى ينتحى إنتحاء أرضى موجب وأن الريشة تنمو إلى أعلى أى تنتحى إنتحاء أرضى سالب (شكل ٦٤) والسبب فى ذلك هو الهورمونات وعلى وجه الخصوص الأوكسينات.



(شكل ٦٤) : إنتحاء أرضي موجب للجذر وسالب للساق.

من المعروف أنه بازدياد تركيز الأوكسين تزداد سرعة النمو وسرعة استطالة الخلايا وذلك حتى تركيز معين هو التركيز الأمثل للأوكسين وهو التركيز الذى يكون فيه سرعة النمو أسرع ما يمكن وإذا زاد التركيز عن هذا الحد فإن سرعة النمو تقل وبزيادة التركيز عن حد معين يسبب تثبيط وضرر للجزء النباتى الموجود فيه وهذه القاعدة عامة وتنطبق على الجذور والسيقان والبراعم الزهرية ولكن من المعروف أن التركيزات اللازمة لتنشيط الساق هى أكبر بكثير من التركيزات اللازمة

لنمو الجذر بمعنى أنه عند تركيز 10^{-7} جزيئ من IAA فإن هذا التركيز يحدث تنشيط لانسجة الساق وتثبيط لانسجة الجذر وذلك كما يتضح من المنحنى (شكل ٦٥) وقد أجريت هذه التجارب على أغماد ريشة مقطوعة أو على أجزاء سيقان تحت طرفية مقطوعة. ومن المعروف أن الأوكسين يتكون فى القمة النامية للساق وينتقل إلى القمة النامية للجذر وفى الساق ينتقل الأوكسين من القمة النامية إلى منطقة الإستطالة وفى الجذر تحتوى منطقة الإستطالة على أوكسين. فى منطقة الإستطالة فى الساق يكون تركيز الأوكسين أقل من الأمثل أما فى حالة الجذر فيكون تركيز الأوكسين أكثر من الأمثل. وعند وضح البادرة أفقيا أو حتى مائلة فإن

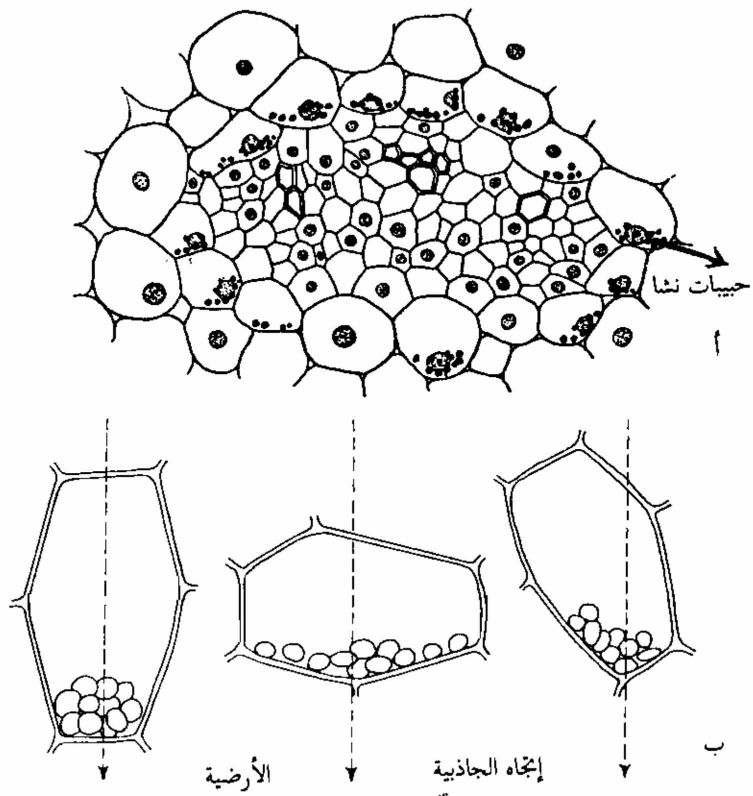


(**شكل ٦٥**) : تأثير تركيز إندول حامض الخليك على نمو الأجزاء المختلفة للنبات.
الجزء المشرط عبارة عن التركيز الأمثل لنمو الساق.

الأوكسين ينتقل من الجزء العلوى لمنطقة الإستطالة إلى الجزء السفلى لمنطقة الإستطالة وذلك نتيجة لعوامل فسيولوجية معقدة كنتيجة مباشرة للجاذبية الأرضية وتفسير ذلك غير معروف حتى الآن بالضبط وبوجد لذلك نظريات أهمها نظرية حبيبات النشا وتسمى بالـ statoliths theory ولو أن هذه النظرية هى من أكثر النظريات قبولاً إلا أنها لا تفسر الحالة بالتفصيل. وفحوى هذه النظرية أن أنواع خاصة

من حبيبات النشا تسمى statoliths تعتبر فعالة فى حساسيتها للجاذبية الأرضية. حيث أن حبيبات النشا تسقط أو تنتقل من الجزء العلوى إلى الجزء السفلى للخلية وتستقر على الجدار السفلى للخلية. وعند عمل دوران لهذه الخلايا وبحيث يصبح الجدار العلوى سفلى وأيضاً الجدار السفلى علوى فإنه فى هذه الأثناء تتجمع هذه الحبيبات على الجزء السفلى من الخلية بإستمرار وفى النهاية تستقر على الجزء السفلى من الخلية مرة أخرى (شكلى ٦٦ و ٦٧)، وجد أن هذه الحبيبات توجد فى الخلايا الحساسة لإستقبال الجاذبية الأرضية وهى خلايا القلنسوه للجذور وذلك فى نباتات كثيرة منها الذرة الشامية. وجد أن إحتكاك هذه الحبيبات من النشا بالجدار السفلى لخلية النبات قد يساعد على سهولة نفاذية الغشاء البلازمى لهذه الخلايا للأوكسينات. ولكن كيف ينتقل الإحساس بذلك أى بالجاذبية الأرضية من خلايا القلنسوه إلى منطقة الإستطالة للجذر فيوجد لذلك نظريتين أحدهما أن إنتقال حبيبات النشا على الجزء السفلى للخلية فى القلنسوه يولد إختلاف فى الجهد الكهربائى على جهتى منطقة الإستطالة فى الجذر bioelectric potentials قدره ٣٠ مللى فولت ويسبب ذلك إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل تبعا لإختلاف الجهد الكهربائى.

والنظرية الثانية وهى الأكثر قبولا أن هذه الخلايا من نسيج القلنسوه تفرز مركب مثبط لخلايا الجذر ينتشر فى الجزء السفلى من الجذر فى منطقة الإستطالة ويسبب تثبيط سرعة إستطالة الخلايا فى هذا الجزء ويعتقد أن ذلك المركب هو حامض الأبسيسك ومما يدعم أهمية القلنسوه فى إنتحاء الجذور الأرضى أن إزالة النصف الطولى للقلنسوه يسبب إنحناء للجذر فى إتجاه الجزء المتبقى من القلنسوه . ولكن لازال على هذه النظرية إعتراضات كثيرة وأهم هذه المآخذ أن الجذور الهوائية للأوركيد ليليا *Laelia* لا يتكون بها حبيبات نشا على الإطلاق وبالرغم من ذلك فإن لها إنتحاء أرضى موجب.

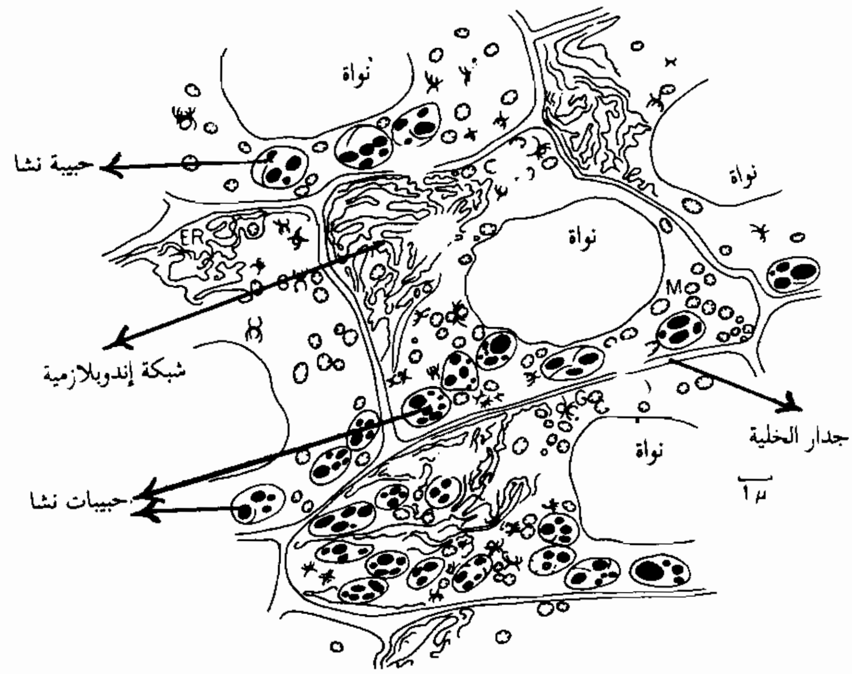


(شكل ٦٦) : تأثير الجاذبية الأرضية على حركة حبيبات النشا فى خلية نبات.

أ ـ جزء من قطاع عرضى فى فلقه البصل يوضح وجود حبيبات النشا فى الجزء السفلى من خلايا تحيط بنسيج وعائى.

ب ـ تأثير الجاذبية الأرضية على حركة حبيبات النشا فى خلايا نبات.

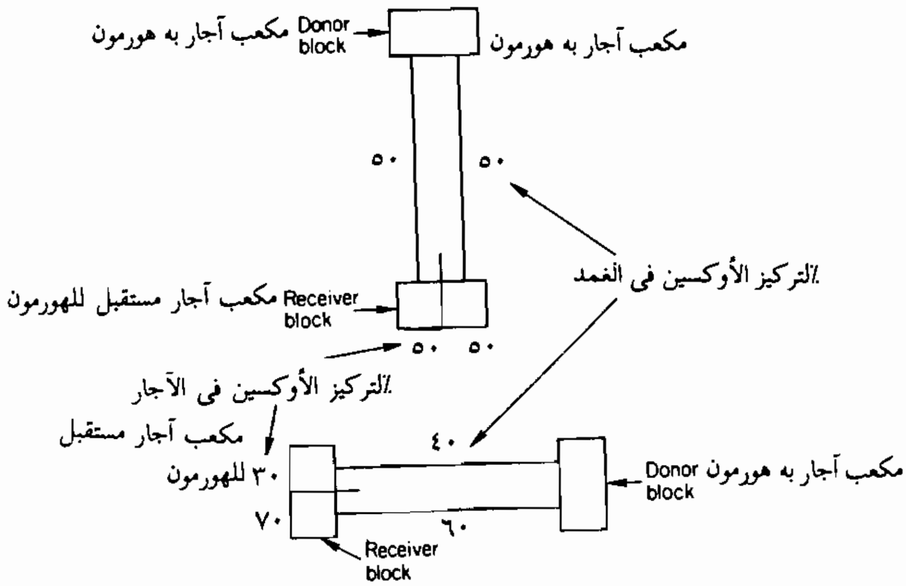
مما سبق نجد دائما أن الجزء السفلى من منطقة الإستطالة يحتوى على تركيز أعلى من الجزء العلوى. ومما يثبت ذلك التجربة التى أجريت على غمد الريشة لنبات الذرة فعند وضع كمية من الأوكسين فى الآجار ولتكن ١٠٠٪ ثم وضع الآجار على قمة الغمد المقطوع وعند استقبال هذا الأوكسين فى الآجار الموجود تحت الجزء السفلى فوجد أن النصف الأيمن من الآجار يحتوى على ٥٠٪ والنصف الأيسر يحتوى على ٥٠٪ من الأوكسين المستعمل فى بداية التجربة وعند وضع



(شكل ٦٧) : قطاع في جذر فول يوضح تحرك حبيبات النشا إلي الجزء السفلي من الخلايا.

هذا الجزء من الغمد فى حالة أفقية وتكرار ما سبق فقد وجد أن الجزء السفلى للآجار المستقبل يحتوى على ٧٠٪ والجزء العلوى يحتوى على ٣٠٪ (شكل ٦٨) وقد أمكن إثبات ذلك أيضا بواسطة IAA مشع. وفى حالة الساق نجد أن تركيز الأوكسين فى الجزء السفلى من منطقة الاستطالة قريب من التركيز الأمثل بينما الجزء العلوى من منطقة الإستطالة للساق يكون التركيز فيها أقل من الأمثل بكثير ونتيجة لذلك ينمو الجزء السفلى أسرع من الجزء العلوى ونتيجة لذلك يحدث إنحناء ويتجه الساق فى نموه إلى أعلى أى ينتحى إنتحاء أرضى سالب. ويتضح أن إنحناء الساق هنا ليس له علاقة بالضوء وليست للضوء أى ميكانيكية للتأثير. أما فى حالة الجذر فإن الجزء السفلى من منطقة الإستطالة يزيد عن التركيز الأمثل بكثير والجزء العلوى يكون قريب من الأمثل فينمو الجزء العلوى أسرع من الجزء السفلى ونتيجة لذلك ينحنى الجذير إلى أسفل وينتحى إنتحاء أرضى موجب إلا أنه فى

النظريات الحديثة الآن علاوة على ذلك يعتقد أن لحامض الأبسيسيك دور فى هذه الحالة حيث يوجد أيضا هذا الحامض بتركيز كبير على الجزء السفلى من الجذر. يعتبر هذا الحامض مثبط لنمو للخلايا.

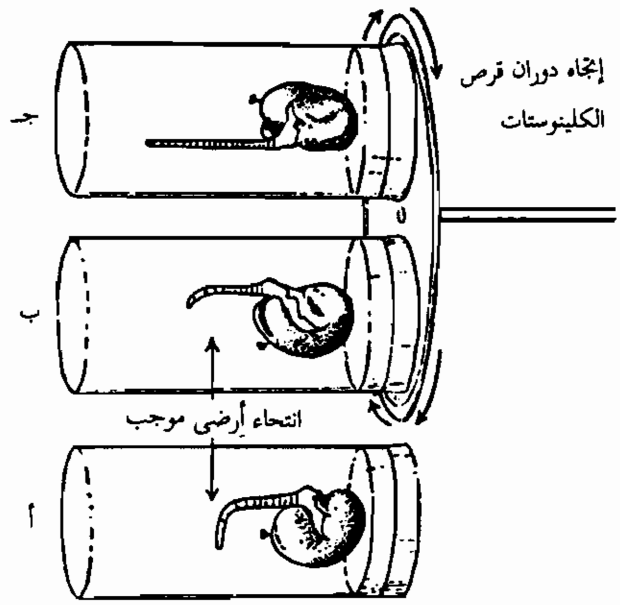


(**شكل ٦٨**) : التأثير الواضح للجاذبية الأرضية على إنتقال الأوكسين إلى الجزء السفلى من غمد الريشة النامى أفقيا أو الموضوع أفقيا.

وجد بإستعمال طرق radio-immunoassay أن تركيزات IAA و GA و ABA إختلفت فى الجزئين العلوى والسفلى من السويقة الجنينية السفلى لبادرة عباد الشمس الأفقية وذلك فى حدود ساعتين بعد وضعها أفقيا. يلاحظ أيضاً أن هذا الزمن كاف لحدوث الإستجابة لتأثير الجاذبية الأرضية gravitropic-response.

وإذا منعنا الإختلاف فى تركيز الهرمونات على جانبى منطقة الإستطالة فى كل من الساق والجذر بحيث أن يكون تركيز الأوكسين فى أى جزء من منطقة الإستطالة للساق هو تركيز موحد وأيضاً بالنسبة للجذر فإن كل من الساق والجذر سينمو نمواً أفقياً ولن يحدث له أى إنتحاء ويمكن إثبات ذلك بواسطة جهاز الكلينوستات klinostat .

والفكرة فى الجهاز أنه يتكون من قرص فلليني ويثبت على هذا القرص بواسطة دبوس بادرة ملفوفة بجزء من قطن مبلل وأن هذا القرص له غطاء بلاستيك ومتصل بموتور كهربائى والموتور وظيفته هو عمل دوران للقرص بسرعة منتظمة فى اتجاه واحد وذلك يمنع الإختلاف فى تركيز الهرمونات فى منطقة الإستطالة وبالفعل ينمو كل من الجذر والساق أفقياً (شكل ٦٩).



(شكل ٦٩) : رسم يوضح تأثير دوران النبات بانتظام فى وضع أفقى على الانتحاء الأرضى فى جذور الفول.

أ ـ بادرة ثبتت أفقيا دون دوران فانتحى الجذر أرضيا.

ب ـ بادرة ثبتت أفقيا دون دوران فانتحى الجذر فى فترة من الزمن ثم وضعت على كلينوستات لتدور، فانتحى الجذر أرضيا .

جـ ـ بادرة ثبتت أفقيا على كلينوستات لتدور باستمرار فلا ينتحى الجذر ويستمر فى النمو أفقيا .

يحتاج الإحساس بالجاذبية الأرضية إلى وقت معين. تسمى أقل فترة لازمة لكى يحدث الإنتحاء الأرضى بإسم فترة التعريض presentation time. تختلف فترة التعريض بإختلاف النبات فقد تكون الفترة قصيرة بضع دقائق كما فى كثير من الحالات ولكن فى حالات أخرى تحتاج إلى فترات أطول.

وحديثاً وباستعمال الأقمار الصناعية وعند إجراء التجارب على حيوانات التجارب وغيرها ومنها الانسان فقد استعملت أيضا النباتات لاجراء التجارب عليها وجد أنه عند خروج الأقمار الصناعية من مجال الجاذبية الأرضيةوفى اتجاهها إلى الأقمار المختلفة أنه يحدث نمو للبذور والحبوب ولكن نجد أنه لايوجد اتجاه معين لنمو الجذور أو السيقان كما هو الحال على الكرة الأرضية حيث وجد أن الجذور والسيقان فى هذه الحالة تتجه فى أى اتجاهات وليست فى اتجاه معين. ولذلك فى الحالة الأخيرة وحيث أن اتجاه الهرمون من أعلى إلى أسفل فى منطقة الإستطالة هو نتيجة لعمليات فسيولوجية معقدة نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية وبذلك يكون للجاذبيه الأرضيه تأثير فعال واضح فى حدوث عملية الإنتحاء الأرضى الموجب والسالب. ينمو الجذر الأصلى أو الوتدى موازٍ لاتجاه الجاذبية الأرضية ويسمى ذلك إنتحاء orthogeotropic وقد ينمو الجذر بميل كما فى الجذور الثانوية والجانبية ويسمى ذلك إنتحاء أرضى plagiogeotropic وتنمو السوق الجارية والريزومات أفقياً أى عمودى على الجاذبية الأرضية ويسمى إنتحاء أرضى diageotropic.

من المعروف أن الجزء من الجذر الذى يستقبل الإحساس بالجاذبية الأرضية هو قلنسوة الجذر root cap وقد وجد أنه بإزالة قلنسوة الجذر فإنه لا يحدث إنتحاء أرضى. ويستمر ذلك فترة من الزمن طويلة أو قصيرة حتى يتمكن الجذر مرة أخرى من تكوين قلنسوة جديدة. ومن ذلك يتضح أن القلنسوة وكما سبق ذكره تفيد فى حماية الجذر أثناء نموه بين حبيبات التربة وتستعمل كغطاء واقى لقمة الجذر الرهيفة وبذلك تساعدها على اختراق التربة دون تأثير ضار عليها. ولكن من المعروف أيضا وكما سبق ذكره أن قلنسوة الجذر هى التى تستقبل الحساسية للجاذبية الأرضية وهى المسئولة عن إظهار تأثير الجاذبية الأرضية فى حدوث الإنتحاء الأرضى للجذر وأن غياب القلنسوه يفقد الجذر حساسيته للإنتحاء الأرضى.

وجد أيضا أن التحول الغذائى فى الخلايا ذات النشا statocytes و المناطق المحيطة بها يختلف فى سرعته فى الجزء العلوى عن الجزء السفلى فى عقد نبات القمح

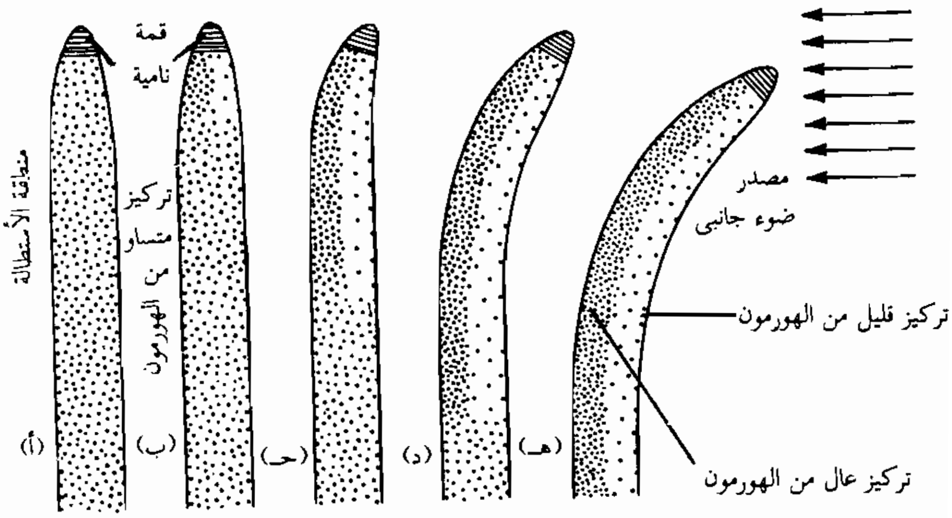
الأفقى حيث أتضح أن للجاذبية الأرضية تأثير على بعض الإنزيمات وعلى الأقل إنزيم واحد حيث وجد أن تركيز السكريات المختزلة فى النصف السفلى من العقدة الأفقية أعلى ٣ إلى ٤ مرات من النصف العلوى يدل ذلك على حدوث تحلل للسكروز بواسطة إنزيم السكريز (أنفرتيز) بدرجة أكبر فى الجزء السفلى عنه فى الجزء العلوى. وجد أيضا أن المستخلصات من النصف السفلى تحتوى على تركيز عال من هذا الأنزيم بالمقارنة بالنصف العلوى. ويعتبر ذلك أتجاه جديد فى تفسير الأنتحاء الأرضى حيث يعتقد أن الجاذبية الأرضية تؤثر على تخليق أو نشاط أو تحرر الأنزيم ويكون له دور فى حدوث الإنتحاء الأرضى. أيضاً يمكن أن يكون للإنزيمات التى لها دور فى طرد البروتون خلال الغشاء البلازمى الإكتوبلاست. proton extrusion through plasmalemma لها دور فى الإنتحاء الأرضى. أى يكون دور الجاذبية الأرضية فى الإنتحاء عن طريق هذه الأنزيمات أيضاً ولكن لازال هذا الإستنتاج يحتاج إلى دراسات كثيفة.

الإنتحاء الضوئى Phototropism :

وهو تفسير بعض تجارب الرواد الأوائل فى اكتشاف الهرمونات النباتية أى الأوكسينات.

فى حالة وجود إضاءة متساوية أو ظلام فإن نمو غمد الريشة لنبات الشوفان أو الساق يكون نمو رأسى ولا يوجد فيه أى إنحناء. ولكن عند تعريض الأجزاء السابقة لمصدر ضوئى من جهة واحدة unilateral light نجد أن الغمد أو الساق ينحنى ويتجه فى نموه ناحية مصدر الضوء، وهذا ما يسمى بالانتحاء الموجب positive phototropism ويحدث هذا الإنتحاء نتيجة لإختلاف فى تركيز الأوكسينات على جانبى الساق فنجد أن جزء من الساق المواجه للضوء يحتوى على تركيز ضئيل من الأوكسينات بينما الجزء البعيد عن الضوء يحتوى على تركيز كبير أو أمثل (شكل ٧٠) ونتيجة لذلك يحدث إختلاف فى سرعة نمو كل من جزئى الساق أو الغمد حيث نجد أن سرعة نمو الجزء البعيد عن الضوء أسرع بكثير من سرعة نمو الجزء

المواجه للضوء ونتيجة لذلك يحدث الإنحناء فى إتجاه مصدر الضوء. وقد إختلفت التفسيرات لتفسير إختلاف تركيز الأوكسينات على جانبى الساق أو الغمد فى حالة وجود مصدر ضوئى جانبى. وتوجد لذلك نظريات كثيرة أهمها:



(شكل ٧٠): إنتحاء ضوئى موجب للساق أو غمد الريشة.

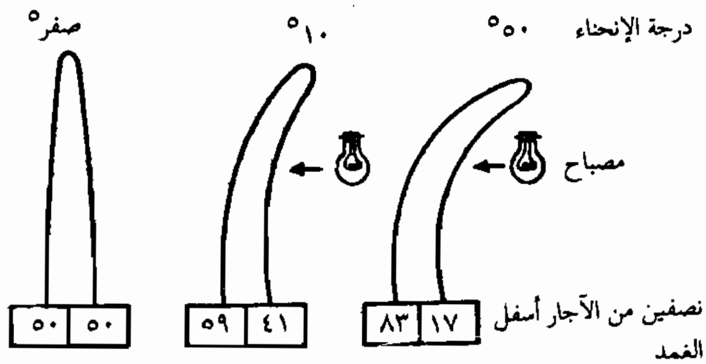
١ ـ أن الأوكسين يفسد فى الجزء المواجه للضوء بينما يكون بحالة نشطة فى الجزء البعيد عن الضوء. ومما يدعم هذه النظرية أنه من المعروف أن مركب IAA حساس للضوء وفى وجوده فى الإضاءة لمدة طويلة يتسبب فساده وتوقف فاعليته.

٢ ـ أما عن النظرية الثانية فإنها تعتقد أن الهرمون ينتقل من الجزء القريب من الضوء إلى الجزء البعيد عن الضوء. وهى النظرية الأكثر قبولا فى الوقت الحاضر.

٣ ـ وأن النظرية الثالثة تفترض أن الجزء من القمة النامية القريب من الضوء غير قادر على تخليق الأوكسين أما الجزء من القمة النامية البعيد عن الضوء وهو القادر على تخليق الأوكسين.

عند معاملة قمة غمد الريشة للذرة بواسطة إندول حامض خليك مشع ^{14}C-IAA ثم شق الجزء القاعدى من الغمد طولياً لمسافة ١ م ثم وضع الغمد على طبقة آجار. ثم تعريض الغمد لضوء من ناحية واحدة ويتم تجميع الأوكسين المشع فى الآجار فنجد أن التركيز فى الآجار المواجه للضوء هو ٢٥٪ بينما التركيز فى الآجار البعيد عن الضوء هو ٧٥٪ كما أن كمية الأوكسين المشع فى الآجار لم تتأثر حيث أنها نفس الكمية المعامل بها الغمد وذلك دليل على أن إختلاف التركيز غير راجع إلى فساد الأوكسين بل نتيجة لإختلاف فى تركيز الأوكسين فى نصفى الغمد. وذلك يعضد صحة النظرية الثانية.

ولإثبات أن تركيز الأوكسين يكون أعلى فى الجانب البعيد عنه فى الجانب المواجه للضوء وذلك فى غمد الريشة لنبات الشوفان فإنه عند تعريض الغمد لإضاءة متساوية أو إضاءة من جانب واحد وجمع الأوكسين المنتقل من القمة إلى منطقة الإستطالة فى مكعب للآجار أسفل الغمد المقطوع فنجد أن تركيز الأوكسين على ناحيتى الغمد فى حالة الإضاءة المتساوية يكون متساوٍ حيث أن تركيز الأوكسين يكون متساوٍ فى ناحيتى قطعة الآجار. أما فى حالة الإضاءة من جانب واحد فإن درجة إنحناء الغمد تزداد بإزدياد مدة التعريض للإضاءة الجانبية وقد وجد إختلاف فى تركيز الأوكسين على جانبى الغمد حيث يزداد تركيزة فى الجانب البعيد من الضوء بالمقارنة بتركيزه فى الجانب المواجه للضوء ويتضح ذلك من تركيز الأوكسين على جهتى مكعب الآجار. حيث أنه فى حاله ميل أو إنحناء قمة الغمد بزاوية قدرها عشر درجات فإن الأوكسين إختلف تركيزه حيث أصبح ٥٩٪ فى الجانب البعيد و٤١٪ فى الجانب القريب من الضوء وفى حالة ميل قمة الغمد بزاوية قدرها خمسون درجة فإن تركيز الأوكسين يكون ٨٣٪ فى الجانب البعيد و١٧٪ فى الجانب المواجه للضوء (شكل ٧١).

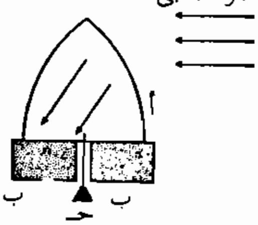


(شكل ٧١): التغيير فى تركيز الأوكسين على جانبى الغمد لنبات الشوفان عند تعريضه لإضاءة جانبية.

أما عن النظريات المختلفة لتفسير ذلك فإن لكل نظرية ما يؤيدها وأيضاً عليها مآخذ. ففى حالة النظرية الأولى فإنه من المعروف أن الريبوفلافين يسبب فساد إندول حامض الخليك فى التجارب المعملية فى أنابيب الإختبار *in vitro* عند تعريضه للضوء. وحيث وجد أن الريبوفلافين يسبب تثبيط نمو بادرات البسلة فى الضوء فقط وليس له أى تأثير فى الظلام.

أما فى النظرية الثانية وهى الأكثر قبولا فقد ثبت حدوثها فى كثير من التجارب ومنها ما يأتى. تجربة فنت Went عام ١٩٢٨ حيث أزال القمة النامية لغمد الريشة لنبات الشوفان (الزمير) بعد تعريضها لأضاءة من جانب واحد لفترة كافية. وضع هذه القمة على مكعبين آجار يفصلهما لوح معدنى رقيق ثم أختبر كل مكعب على حده بإستخدام طريقة غمد الريشة لنبات الشوفان وقد أتضح أن المكعب الملاصق للجزء المواجه للضوء يحتوى على تركيز أقل من الأوكسين بالمقارنة بتركيز الأوكسين فى مكعب الآجار الملاصق للجزء البعيد عن الضوء (شكل ٧٢) وأيضاً إن هجرة وإنتقال الأوكسين من جانب الغمد المواجه للضوء أعلى منه فى الجزء البعيد عن الضوء. وقد أستنتج فنت أن الإضاءة من جانب واحد تسبب هجرة جزء من الأوكسينات من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد عن الضوء فى غمد

الريشة. تمكن Boysen - Jensen من إثبات هذه النتيجة ولكن بطريقة أخرى حيث أنه قام بعمل شق طولى فى قمة غمد الريشة لنبات الشوفان ووضع فى الشق لوح زجاجى رقيق ثم قام بتعريض الغمد إلى إضاءة من جانب واحد وذلك فى معاملتين. فى المعاملة الأولى يكون الضوء مواز للوح الزجاجى فيحدث إنتحاء ضوئى وفى المعاملة الثانية يكون الضوء عمودى على اللوح الزجاجى فلم يحدث إنتحاء ضوئى للغمد وأستنتج من هذه التجربة أن الأوكسين ينتقل من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد للضوء ومما يثبت ذلك حدوث الإنتحاء فى المعاملة الأولى وعدم حدوث الإنتحاء فى المعاملة الثانية حيث أن اللوح الزجاجى منع إنتقال الأوكسين من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد عن الضوء فى الحاله الثانيه ولم يؤثر على إنتقاله فى الحاله الأولى. وبذلك أثبت نفس النتيجة التى أثبتها فنت.



(شكل ٧٢) : تأثير الإضاءة الجانبية على إنتقال الأوكسين في قمة غمد الريشة لنبات الشوفان.
ـ تشير الأسهم داخل قمة الغمد إلى إتجاه إنتشار الأوكسين.
أ ـ قمة الغمد.
ب ـ قطعتين من الآجار.
حـ ـ رقيقة من المعدن.

أما النظرية الثالثة فإنها غير مقبولة حيث أنه من الثابت أن الضوء يشجع التخليق الحيوى biosynthesis للأوكسينات وخاصة أن إزالة القمة النامية لغمد الريشة لنبات الشوفان وإحلال مكعب آجار به أوكسين مكان القمة النامية فإن الإنتحاء الضوئى الموجب للغمد يتم حدوثه تماماً كما فى حالة وجود الغمد.

أما عن مدة التعريض للإضاءة الجانبية اللازمة لحدوث الإنتحاء الضوئى الموجب فقد أثبت بلاو Blaauw فى بداية القرن العشرين أن هذه المدة وجيزة. وحيث أن

الإضاءة نتيجة لشدة الإضاءة ومدة الإضاءة فإنه فى حالة شدة إضاءة مرتفعة تكون مدة الإضاءة قصيرة والعكس صحيح. وقد وجد أن شدة إضاءة قدرها ٠,٠٠٠١٧ متر/ شمعة لمدة ٤٣ ساعة لازمة لحدوث إنتحاء ضوئى موجب لغمد الريشة لنبات الشوفان والعكس صحيح فى حالة شدة إضاءة قدرها ٢٦٥٢٠ متر/شمعة لمدة ٠,٠٠١ ثانية كافية لحدوث الإنتحاء الضوئى فى النبات المذكور. وأن أقل كمية ضوء تسبب حدوث الإنتحاء الضوئى تسمى قيمة المدخل threshold value وأن هذه القيمة تختلف بإختلاف النبات وعمر النبات والجزء المعرض من النبات. حيث أنه من المعروف أن حساسية النبات للإنتحاء الضوئى الموجب يقل عادة بزيادة عمر النبات أى أن النبات المسن أقل حساسية للإنتحاء الضوئى من النبات الصغير السن. أما عن حساسية الجزء المعرض لقيمة المدخل فإن حساسية ٠,٢ م الطرفية من غمد الريشة لنبات الشوفان تفوق حساسية الجزء من الغمد الذى يبعد عن القمة النامية بمقدار ٣م بمقدار ستة آلاف مرة أى أن قيمة المدخل فى الحالة الثانية تزيد بمقدار ستة آلاف مرة عنها فى الحالة الأولى.

أما عن سبب إنتقال الأوكسين من الجانب المواجه للضوء من الغمد إلى الجانب البعيد من الضوء وذلك فى غمد الريشة لنبات الشوفان وأيضا فى غمد الريشة لكثير من نباتات العائلة النجيلية وأيضا فى السيقان فهو غير معروف بالضبط حتى الآن. ولكن فى بعض الحالات عند تعريض الغمد لمصدر ضوئى جانبى فإنه يتكون على جانبى الغمد المعامل فرق فى الجهد الكهربائى أمكن قياسه ويعتقد أنه يمكن أن يكون ذلك سبب فى هجرة الأوكسين من الجانب المواجه للضوء إلى الجانب البعيد للضوء. ولكن حتى الآن هذه النظرية غير مؤكدة وعليها مآخذ, ولازال السبب فى ذلك غير معروف.

ومما جدير بالذكر أن غمد الريشة والساق يظهر إنتحاء ضوئى موجب والعكس صحيح فى الجذر فإنه يظهر إنتحاء ضوئى سالب. حيث أنه عند تعريض الجذر لإضاءة من مصدر جانبى فإن الجذر يظهر إنتحاء ضوئى سالب وينمو فى إتجاه

عكسى مصدر الضوء. تعتبر هذه القاعدة والأساس فى حالة الجذور ولكن توجد حالات نادرة يمكن أن يظهر فيها الجذر إنتحاء ضوئى موجب.

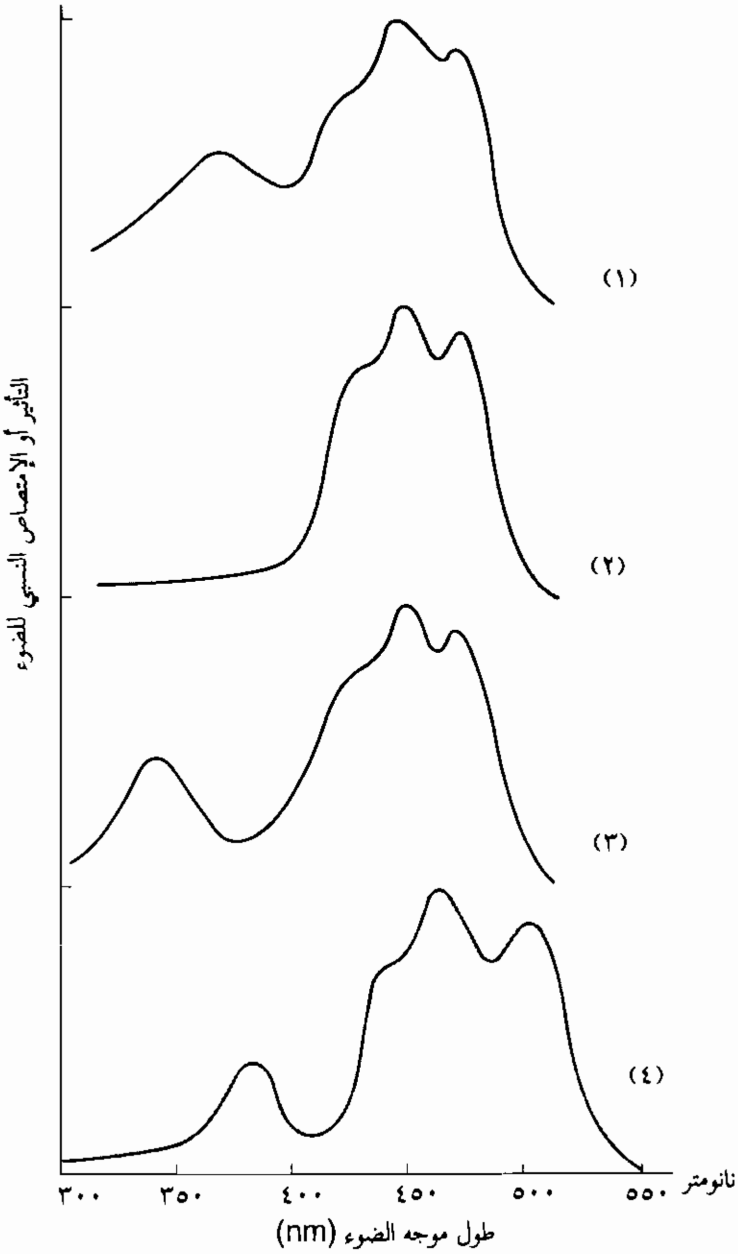
أما عن أنواع الضوء التى تسبب الإنتحاء الضوئى الموجب فقد وجد أن الضوء العادى يسبب هذا الإنتحاء ولكن من المعروف أن الضوء العادى يتكون من عديد من الألوان ولذلك فقد أجريت إختبارات لإختبار تأثير كل لون من ألوان الطيف الضوئى كلا على حده. فقد وجد أن جميع ألوان الطيف الضوئى مثل الأصفر والأحمر والأخضر والبرتقالى ليس لها أى تأثير على الإنتحاء الضوئى وأن الضوء الوحيد المؤثر على حدوث الانتحاء الضوئى هو اللون الأزرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية ولذلك فإن الجزء الفعال فى الضوء العادى هو اللون الأزرق وجزء من الأشعة فوق البنفسجية، وإذا أستخدمت جميع ألوان الضوء العادى عدا النوعين المذكورين أخيرا من الضوء فإنه لن يحدث أى إنتحاء ضوئى. يمكن الحصول على ألوان مختلفة من الضوء العادى بإستعمال مرشحات ضوئية filters ذات ألوان مختلفة مثل الأحمر والأخضر والأزرق والأصفر والبرتقالى.

من المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير فى النبات فلابد أن يمتص أولاً ويحدث إمتصاص للضوء فى النبات بواسطة الصبغات والصبغة المسئولة عن الإنتحاء الضوئى الموجب للساق أو قمة الغمد هى ليست صبغة الكلوروفيل حيث أن صبغة الكلوروفيل تمتص بشدة كل من اللونين الأحمر والأزرق. بينما الإنتحاء الضوئى لا يتأثر بذلك كما ثبت من التجارب وأن المؤثر هو اللون الأزرق وجزء من اللون البنفسجى، لذلك فقد إختبرت صبغات أخرى لتقدير كفاءتها فى إمتصاص الضوء، ومن هذه الصبغات الكاروتينات carotenoids والفلافينات flavins وقد وجد أن صبغة trans-B carotene لا تمتص الضوء الأزرق أو الفوق بنفسجى عند طول موجة ٣٧٠ نانومتر وأن هذه الصبغة موجودة بكثرة فى النبات ولكن وجد أن المشابه لهذه الصبغة isomer هو عبارة عن cis-B carotene يمتص الضوء الأزرق وجزء من اللون الفوق البنفسجى عند طول موجة ٣٤٠ نانومتر ولكن من المعروف أن الصبغة الأخيرة لاتوجد فى النباتات طبيعياً ولذلك يوجد اعتقاد أن هذه الصبغة تنشأو توجد فى

النباتات وهذه عند عزلها يحدث لها عملية isomeration فتتحول من حالة إلى أخرى وينتج عن الصبغة الأصلية مركب آخر شبيه بها. أى أن المركب الأخير يفقد فى النبات أثناء الإستخلاص والعزل والتنقية وقد يوجد أصلا فى النبات، ومن جهة أخرى فقد وجد أن الفلافينات flavins الذائبة فى الدهون تمتص أيضا الضوء الأزرق وجزء من الضوء فوق البنفسجي وتشابه فى منحنى إمتصاصها المنحنى(١). يعتبر المنحنى ١ هو المنحنى الذى يوضح درجة الإنتحاء الضوئى للغمد فى كل طول موجه معين ويسمى بمنحنى طيف التأثير action spectrum وتتم المقارنة على أساس هذا المنحنى.

تسمى المنحنيات الأخرى (٢و٣و٤) بمنحنيات طيف الإمتصاص absorption spectrum. حيث أنه فى كل صبغة على حده لها طيف إمتصاص خاص بها أى أنه منحنى يوضح درجة إمتصاص الصبغة لأطوال الضوء المختلفة المختبرة ولذلك فإن المنحنى ٢ هو طيف أمتصاص trans B-carotene والمنحنى ٣ هو طيف أمتصاص cis B-carotene والمنحنى ٤ هو طيف إمتصاص الريبوفلافين الذائب فى زيت الخروع (شكل ٧٣) يعتبر منحنى الريبوفلافين الأقرب إلى منحنى طيف التأثير ويليه منحنى cis.

من المعروف أن الكاروتينات والريبوفلافين شائعة الوجود فى النبات ويوجد ان مع بعضها دائماً ولذلك فإنه لم يمكن إجراء التجارب على أى منهما على حدة فى النباتات لتقدير أيهما أهم أو أكثر فاعلية. ولذلك يجب إستخدام كائنات طفره لا تحتوى أحدهما وتحتوى الآخر. ولم يمكن عمل ذلك . ولكن أمكن فى بعض الكائنات تثبيط تكوين B-carotene حتى ٢٠٪ أو أقل من التركيز الأصلى وقد وجد أن هذه النباتات قادرة على إظهار الإنتحاء الضوئى تماماً كما لم يحدث تثبيط لتكوين هذه الصبغات. وهذه التجارب تثبت أن الكاروتين قد يكون غير فعال أى ليس له دور فى الإنتحاء إطلاقاً أو أن تركيز قليل منه كاف لحدوث الإنتحاء الضوئى. أما فى حالة الفلافينات فلم يمكن حتى الآن عمل تجارب لتثبيط تكونيه كما هو الحال فى الكاروتين.



(شكل ٧٣) : مقارنة بين منحني طيف التأثير action spectrum للإنتحاء الضوئي(١).

ومنحني طيف الأمتصاص للضوء لكل من *trans* بيتاكاروتين(٢).

و*cis* بيتاكاروتين (٣) والريبوفلافين (٤).

ومما سبق يتضح أن الصبغة الرئيسية الفعالة فى حدوث الإنتحاء الضوئى الموجب غير معروفة بالضبط ولكن هى بالقطع كاروتين أو فلافين أو مركبات شبيهة بهما وقد تكون الريبوفلافين حيث أن جميع المنحنيات السابقة لا تماثل تماما منحنى طيف التأثير.

الأنتحاء الضوئى فى الأوراق والأزهار:

إن إنحناءات الإنتحاء الضوئى معروفة لمن يشاهدون النباتات عن كثب، وتكون ظاهرة بشكل خاص فى النباتات التى تنمو فى أماكن تكون معرضة فيها لإضاءة غير متساوية على جانبيها المتقابلين. وتنحنى السوق عادة فى مثل هذه الظروف فى اتجاه الضوء الأقوى، كما أن الأوراق تتخذ هى الأخرى وضعاً معيناً بالنسبة لمصدر الضوء، بغض النظر عن مواضع اتصالها بالساق. وعندما تنمو النباتات المتسلقة مثل حبل المساكين *Hedera helix* على جدار بحيث يسقط الضوء عليها أساساً فى اتجاه واحد فإن أنصال الأوراق تشغل السطح المعرض كله تقريباً بحيث تتفادى التراكب بقدر الإمكان. وتبدو أنصال الأوراق وكأنها معشقة بعضها فى بعض بشكل جعلها تعرف بالأوراق الموزايكية leaf mosaics. وبالمثل، توجد الأوراق الموازيكية فى معظم النباتات التى تحمل أعداداً كبيرة من الأوراق، وإن كان تداخلها أقل إتقاناً من حبل المساكين. وأى شخص يقف تحت شجرة إسفندان أو بلوط كبيرة لا يسعه إلا أن يبهر بالطريقة التى بها تحجب الأوراق الشمس حجباً كاملاً. وكثيراً ما تتخذ أوراق بعض النباتات العشبية مثل الخس وسيلفيم *Silphium* الخ أو ضاعاً بحيث تواجه أنصال الأوراق الشرق والغرب ولا يواجه الشدة الكاملة لشمس الظهيرة سوى حواف الأنصال. ويكون هذا الوضع واضحاً جداً حتى إن هذه النباتات تعرف باسم نباتات البوصلة compass plants وأنصال أوراق البلوط التركى *Quercus catesbei* تتخذ هى الأخرى وضعاً رأسياً مميزاً فى الضوء الشديد.

ومن أحسن الأمثلة لذلك هى تجارب *Brauner* على أوراق نبات أبوخنجر *Tropaeolum majus* حيث وجد أن الأوراق تكون دائماً عمودية على أشعة الشمس فإنها تظهر إنتحاء ضوئى موجب من النوع diaphototropic حيث تكون

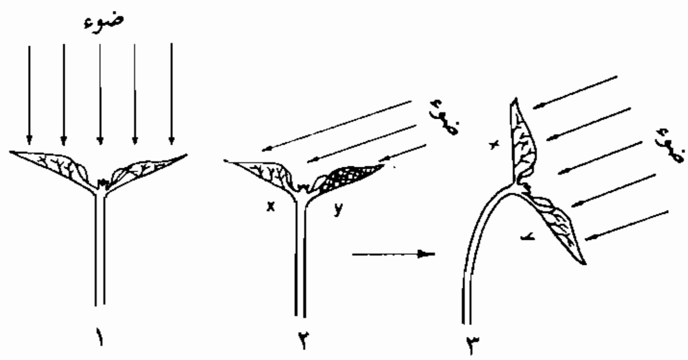
الأوراق الدرعية للنبات متجهة لأعلى لإستقبال أشعة الشمس وإذا كانت الإضاءة جانبية فإن الأوراق تواجه مصدر الإضاءة الجانبية. وقد وجد أن السبب فى هذه الحالة هو عنق الورقة وليست النصل أى أن الإنتحاء الضوئى يحدث فى عنق الورقة فقط دون النصل وأيضاً أن الجزء الحساس للإنتحاء الضوئى هو عنق الورقة دون النصل ومما يثبت ذلك أنه فى حالة تعريض عنق ونصل الورقة للضوء يحدث إنتحاء ضوئى موجب وفى حالة تعريض العنق للضوء والنصل للظلام يحدث أيضاً إنتحاء ضوئى موجب والعكس صحيح فى حالة تعريض العنق للظلام والنصل للضوء حيث لا يحدث إنتحاء ضوئى.

أما فى حالة الأزهار فإن نورة عباد الشمس من أدق وأفضل الأمثلة لذلك ونتيجة لأن النورة دائماً تكون فى مواجهة مصدر الضوء أى أن الإنتحاء الضوئى موجب ولذلك فقد وصف بأنه يعبد الشمس ومنه أشتق اسم النبات. كما أن المحور الحامل للنورة هو الجزء الذى يستجيب لتأثير الضوء ويحدث فى هذا المحور أى الساق الإنحناء والإنتحاء الضوئى الموجب ولذلك تصبح النورة مواجهة تماماً لمصدر الضوء. ومن أمثلة ذلك أيضاً نورة نبات جربيرا *Gerbera* حيث وجد المؤلف أن لها حساسية فائقة للإنتحاء الضوئى الموجب. وفى الحالتين السابقتين فإن المسئول عن الإنتحاء هو ساق النبات الحامل للنورة. ويمكن أن يكون نفس الشيئ بالنسبة لعنق الزهرة حيث ينتحى إنتحاء ضوئى موجب وموجها الزهرة لمصدر الضوء كما فى أحد أنواع نبات حبل المساكين وهو ivy-leaved toadflax. ووجد المؤلف ذلك فى زهره البنسيه.

ومما هو جدير بالذكر أنه فى حالة نبات الأيفى وبعد الإخصاب وأثناء تكوين الثمار يتحول إتجاه العنق إلى الإتجاه العكسى حيث يصبح إنتحاء ضوئى سالب للثمرة وغير معروف تفسير لذلك ولكن قد يكون نتيجة لزيادة تخليق وإنتقال وتركيز الأوكسين بعد الإخصاب وأثناء تكوين الثمار. ومثال آخر من البيئة المصرية هو أزهار نبات الفول السودانى حيث أنها تنتحى إنتحاء ضوئى موجب وذلك بالطبع نتيجة لحساسية عنق الزهرة ولكن بعد الإخصاب مباشرة فإنها تنتحى إنتحاء ضوئى سالب

حيث يستطيل العنق ويتم دفن الثمرة الصغيرة فى التربة وحيث يتم تكوين الثمار فى التربة. وقد يكون تفسير ذلك كما فى الزهرة السابقة.

يمكن أن تؤثر شده الضوء على ساق عباد الشمس ويسبب إنتحاء موجب حيث أن شدة الإضاءة على الورقة x أكبر من شد الإضاءة على الوزقة y ولذلك تنتج الورقة x تركيز أعلى من إندول حامض الخليك بالمقارنة بالورقة y ولذلك يحدث الإنتحاء (شكل ٧٤).



(شكل ٧٤): تأثير الضوء على الإنتحاء الضوئى الموجب لساق عباد الشمس.

١ ـ الإضاءة متساوية على الأوراق.

٢ ـ الإضاءة غير متساويه على الأوراق حيث أن شده الإضاءه على الورقة x أعلى من شدة الإضاءة على الورقة y. ولذلك تنتج الورقة x إندول حامض الخليك أكثر من الورقة y.

٣ ـ نتيجة لما سبق يحدث إنحناء للساق فى إتجاه الضوء.

طرق تقدير تركيز الأوكسينات:

توجد طرق عديدة لتقدير تركيز الأوكسينات ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى نوعين وفى كل نوع يوجد عديد من الطرق وهما كما يلى:

أولا: طرق حيوية (بيولوجية) Bioassay

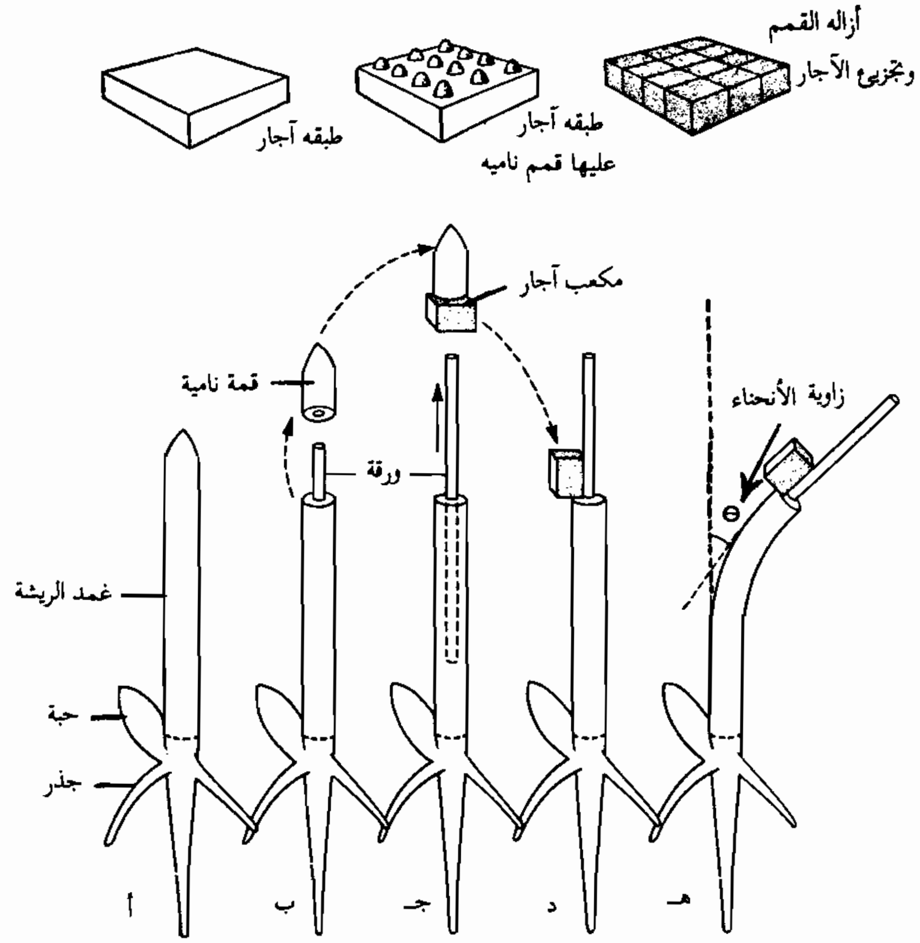
وتشمل عديد من الطرق وهى ما يأتى:ـ

١ ـ طريقة إنحناء غمد الريشة Avena coleoptile curvature لنبات الشوفان:

يعتبر غمد الريشة فى نباتات العائلة النجيلية عامة ومنها الشوفان (الزمير) عبارة عن جزء أنبوبى إسطوانى مغلق يوجد بداخله الورقة الخضرية الأولى. ينمو الغمد إلى طول ٢ ـ ٣ سم فى الضوء و ٦ ـ ٧ سم فى الظلام وبعد إكتمال نموه يثقب فى قمته من الداخل بواسطة الورقة الأولى وتبرز من الغمد . ينمو الغمد نتيجة لإنقسام وإستطالة الخلايا حتى يصل طوله حوالى ٨ سم وبعد ذلك يصبح النمو نتيجة لإستطالة الخلايا فقط. يعتمد هذا الإختبار على سرعة وكفاءة إنتقال الأوكسين من القمة إلى القاعدة. عند معاملة الغمد بعد إزالة القمة النامية بالأوكسين وذلك بوضع الآجار المحتوى على الأوكسين على قمة الغمد المقطوع بحيث يكون غير مركزى أى يوضع على أحد جانبى الغمد المقطوع ويسبب ذلك إنتقال الأوكسين إلى منطقة الغمد أسفل الآجار ويسبب إستطالة الخلايا فى هذا الجزء وينتج عن ذلك إنحناء الغمد. تزداد درجة إنحناء الغمد وبالتالى تزداد الزاوية بزيادة تركيز الأوكسين المستعمل.

توضع حبوب الشوفان مقلوبة، أى أن الشق الطولى الموجود فى الحبة لأسفل، على ورق ترشيح أو رمل مبلل فى حجرة مظلمة ورطوبة نسبية ٩٠٪ وفى درجة حراره ٢٥ْم. بعد ٢٤ ساعة فإن الحبوب المستنبتة تعرض للضوء الأحمر لتثبيط إستطالة السلامية الأولى mesocotyl. تجرى جميع الخطوات بعد ذلك فى حجره أضاءة حمراء أو برتقالى لكى لا تؤثر على إنحناء الغمد، وبعد يومين من بداية التجربة فإن البادرات توضع فى مثبت ماسك زجاجى glass holder فى وضع قائم مع وجود الجذور فى الماء. بعد ثلاثة أيام من بداية التجربة فإن الغمد يصبح طوله ٢ ـ ٣ سم ويكون ذلك هو العمر المناسب لإجراء التجربة. تجرى عملية إزالة ١ م من القمة النامية للغمد وتسمى بعملية القصل decapitation ويسمى الجزء المتبقى

من الغمد بالجذع stump وذلك لإزالة مصدر الأوكسين فى الغمد وبعد ثلاثة ساعات من عملية القصل الأولى تجرى عملية القصل الثانية أى إزالة ٢ مم أخرى من قمة الجذع وذلك لإزالة مصدر الأوكسين الطبيعى نهائياً، يفضل عمل القصل على مرتين حيث أن الجذع يصبح أكثر حساسية للأوكسين عنه فى حالة إجراء عملية القصل أى أزالة القمة النامية مره واحدة وذلك لأسباب فسيولوجية عديدة ومعقدة. تصبح الورقة العلوية أول ورقة ظاهرة فيتم تخليصها وإزالتها برفق بواسطة ملقط ويتبقى من الورقة جزء قاعدى ظاهر أعلى الغمد. يحدث إدماع على السطح المقطوع من الغمد فيتم تجفيفه بواسطة ورق ترشيح برفق. يتم عمل طبقة من الآجار سمكها ١ مم تحتوى الأوكسين. يتم ذلك بتسخين الآجار فى الماء حتى يتكون محلول من الآجار متجانس تركيز ٢ ٪ يترك المحلول ليبرد حتى درجة حوالى ٤٦° مئوية يوضع الأوكسين ويرج المحلول جيداً لضمان توزيع وإنتشار الأوكسين جيداً فى محلول الآجار وحتى يصبح المحلول متجانس التركيز ثم يصب المحلول مباشرة فى طبق بترى أو على لوح زجاجى ويترك ليبرد . وبعد تمام التبريد تتكون طبقة من الآجار صلبة سمكها ١ مم. يتم تقسيم هذه الطبقة إلى مكعبات سطحها مربع ٢ × ٢ مم وبذلك تصبح أبعاد المكعب ١ × ٢ × ٢ مم. يوضع المكعب على أحد جوانب الجذع وتعمل بقايا الورقة العلوية كسند support للمكعب. وبعد تسعون دقيقة من وضع المكعب على الجذع وقد يستعمل البعض زمن قدره ساعتين وفى كلتا الحالتين يجب توحيد مدة التجربة فإنه يوضع ورق تصوير خلف الغمد ويتم تصويره بومضة من الضوء القوى brief flash of light يتم تحميض الصورة ويظهر ظل الجذع المنحنى على الصورة وتسمى هذه بصورة الظل shadow graph. يتم قياس درجة إنحناء الجذع أى قياس الزاوية بواسطة منقلة. تتناسب مقدار الزاوية طردياً مع درجة تركيز الأوكسين أى أنه كلما زاد تركيز الأوكسين كلما زادت الزاوية تبعاً للمنحنى (أشكال ٧٥و ٧٦ و ٧٧).



(**شكل ٧٥**) : طريقة فنت لقياس تركيز الأوكسين بواسطة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

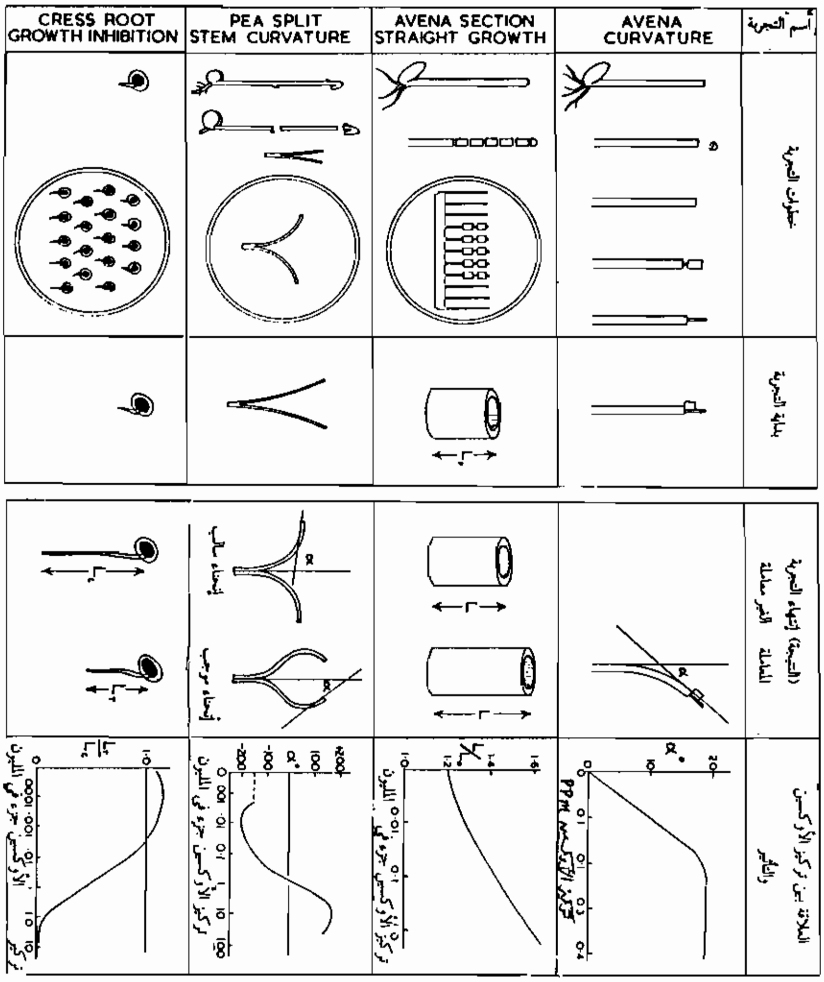
أ ـ بادرة عادية عمرها ٣ أيام .

ب ـ بادرة بعد إزالة القمة النامية لغمد الريشة.

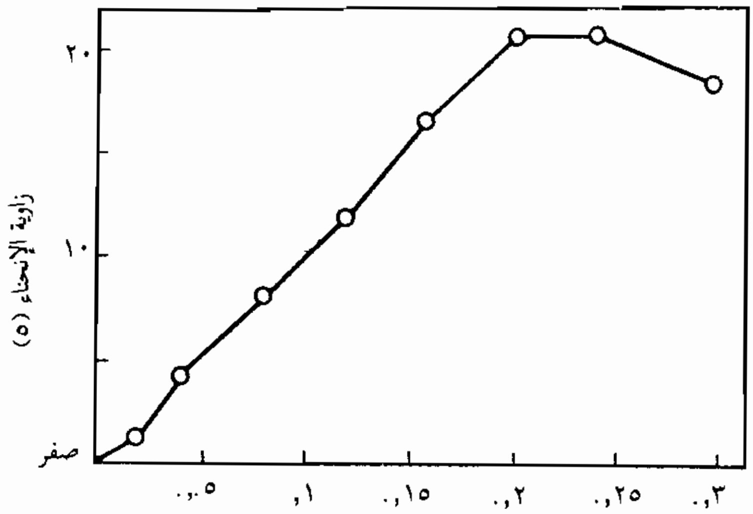
جـ ـ شد الورقة الطرفية لأعلى ووضع قمة الغمد على الآجار.

هـ ـ وضع مكعب الآجار على سطح الغمد المقطوع بعد إزالة قمة الغمد.

هـ ـ إنحناء الغمد بدرجة أى زاوية معينة (e).



(شكل ٧٦) : الطرق المختلفة لتقدير تركيز الأوكسين .



(شكل ٧٧) : العلاقة بين تركيز إندول حامض الخليك ودرجة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

أول من عمل هذه التجربة هو فنت ويرجع إليه الفضل فى إكتشافها وعملها ولم يكن فنت يستعمل منحنى التركيز حيث أنه لم يكن لديه فى تلك الفترة الأوكسين أى إندول حامض الخليك. حيث أن أكتشاف هذا الأوكسين وتنقيته قد تم بعد ذلك. وقد كان يستعمل فنت الوحدة الشوفانية كمقياس لدرجة إنحناء الغمد. تعتبر الوحدة الشوفانية Avena Unit (AU) هى التركيز من الأوكسين الذى يسبب إنحناء الغمد بزاوية مقدارها عشرة درجات مئوية فى تسعون دقيقة فى درجة حرارة ٢٥° م ورطوبة نسبية ٩٠٪ فإذا كان ناتج التجربة هو حدوث إنحناء للجذع قدره خمسة عشر درجة يعنى ذلك أن درجة الإنحناء هى ١,٥ وحده شوفانية وإذا كان الإنحناء عشرون درجة يعنى ذلك أن درجة الإنحناء هى ٢ وحده شوفانية، ولذلك كان يستدل فنت على درجة تركيز الأوكسين بمقدار قيمة الوحدة الشوفانية. حيث أى قيمة الوحده الشوفانية تتناسب طردياً مع تركيز الأوكسين.

وكما سبق القول تركيز الأوكسين فى هذه الحالة تقديرى تبعاً لقيمة الوحده الشوفانية حيث لم يكن لدى فنت أثناء تجاربه أوكسين نقى أو حتى معروف.

وخطوات أختبار انحناء غمد ريشة الشوفان كما يأتى:

وذلك بعد إمكانية الحصول على أكسين نقى:

١ ـ إنبات حبوب الشوفان وإنماء بادراتها فى الظلام، حيث يحدث ضعف وتقليل فى حساسية غمد الريشة للأوكسين عند تعرضها للضوء الأزرق.

٢ ـ يزال ١ م[١] من القمة الطرفية لغمد الريشة بعد وصول البادرات إلى طول يتراوح ما بين ١٥ إلى ٣٠ م، وبالتالى إزالة المصدر الطبيعى للأوكسين.

٣ ـ الإزالة الثانية لإثنين إلى ثلاثة ملليمترات [١] ضرورية بعد مدة ثلاث ساعات من الإزالة الأولى وذلك لإزالة الأنسجة التى تتجدد وتنتج الأوكسين.

٤ ـ الورقة الأولية الأولى والتى تظهر بعد الإزالة الثانية تجذب برفق شديد وهذه الورقة لابد أن تظهر ممتدة لقليل من الملليمترات خارجياً من غمد الريشة حيث تعمل كدعامة عمودية لمكعبات (لبلوكات) الآجار التى توضع على غمد الريشة.

٥ ـ يوضع مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين على جانب واحد فى النهاية المقطوعة لغمد الريشة، وسوف ينتقل الأوكسين إلى أسفل فى جانب غمد الريشة الذى يحمل فوقه مكعب الآجار المحتوى على الأوكسين.

٦ ـ بعد تسعين دقيقة من الخطوة السابقة يعرض ظل البادرات إلى شريط من ورق البروميد [٢] bromide paper ثم يصور وبالتالى يعطى للباحث تسجيل دائم للنتيجة.

(١) يستخدم لذلك ميكروتوم خاص بسيط التركيب يحتوى على شفرات حلاقة عادية.

(٢) تتم هذه العملية عادة بوضع البادرات على شريط فيلم حساس ثم يضاء فوقها بالضوء الأبيض لفترة زمنية بسيطة جداً فيسجل على ورق التصوير بعد تحميض الفيلم ظل البادرة.

٧ ـ يقاس الإنحناء[١] ويسجل بواسطة قياس الزاوية المحصورة بين الخط العمودى المرسوم والخط المرسوم والموازى للجزء المنحنى من الغمد.

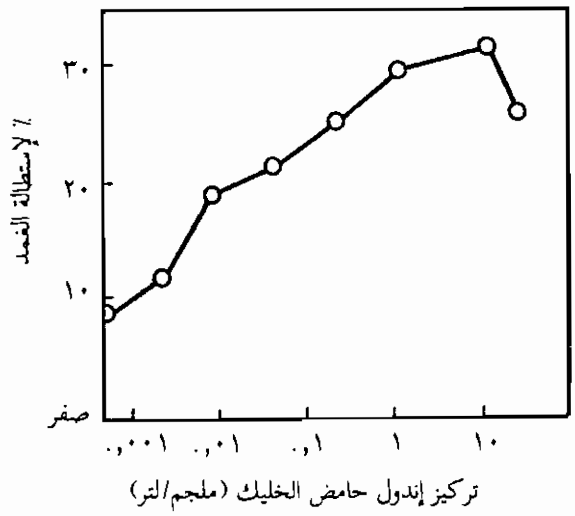
توجد علاقة خطية مستقيمة بين التركيز وكمية الإنحناء من خلال مدى مجال معين لتركيزات الـ IAA. كما هو واضح فى شكل ٧٦، ومجال هذا الـ IAA يصل إلى الذروة المثلى عند حوالى ٢, ملليجرام/ لتر (شكل ٧٦).

٢ ـ طريقة النمو الطولى لغمد الشوفان Avena coleoptile straight growth test:

عند غمر غمد الريشة لنبات الشوفان فى محلول أوكسين فى أطباق بترى فإن نمو الغمد يكون متماثل على جميع الجوانب ولذلك ينمو الغمد طولياً بإنتظام. يوجد تناسب طردى بين سرعة نمو الغمد وتركيز الأوكسين. يمكن عمل هذا الإختبار بنجاح على غمد الريشة لنبات القمح يتم وضع الحبوب على ورقة ترشيح أو رمل مبلل فى الظلام. بعد ثلاثة أيام يصبح طول الغمد ٢ ـ ٣ سم يزال ٣ مم من قمة الغمد وبعد ذلك يتم إزالة ٤ مم أخرى من كل جذع. تأخذ الأجزاء الأخيرة من الغمد والتى طولها ٤ مم وتوضع فى طبق بترى به ماء مقطر لمدة ساعتين. يتم إزالة الورقة الطرفية من داخل هذا الجزء. توضع هذه الأجزاء من الغمد فى إستقامة بعضها وذلك بإدخال أنبوبة شعرية داخل تجويف هذه الأجزاء. تصبح الأنبوبة الشعرية تحمل عديد من أجزاء مقطوعة من الغمد وطول كل جزء ٤ مم ويوجد بين كل جزء وآخر مسافة كافية تسمح بالنمو الطولى للغمد. يلاحظ أن الجزء المقطوع من الغمد مجوف. يتم تعويم floated هذه الأجزاء المحمولة بالأنبوبة الشعرية فى محلول أوكسين فى طبق بترى لمدة يوم كامل فى الظلام. وفى نهاية التجربة يقاس الزيادة فى الطول لكل جزء بواسطة مجهر dissecting microscope يتناسب النمو مع لوغاريتم تركيز إندول حامض الخليك طردياً حتى ١٠ ملليجرام / لتر وذلك كما

(١) قياس الإنحناء يكون على ورق التصوير الذى سجل زاوية الإنحناء فى الخطوة السابقة ويمكن تكبير صورة ظل البادرة بمكبر التصوير العادى ورسم خطوط الزوايا المراد قياسها وبالطبع دون تغيير فى الزوايا، كما توجد أجهزة خاصة لقياس هذه الزوايا مباشرة ذات دقة فائقة.

فى المنحنى (شكل ٧٨). يجب إجراء جميع هذه الخطوات فى حجرة مظلمة بها ضوء خافت أخضر حيث أن الغمد يفقد حساسيتة للأوكسين فى حالة تعريضه لضوء ذو طول موجه قصيره مثل الأزرق أو البنفسجي. يعتبر هذا الإختبار أقل فى حساسيتة من الإختبار السابق.



(**شكل ٧٨**) : العلاقة بين تركيز إندول حامض الخليك وإستطالة غمد الريشة لنبات الشوفان.

وجد أن خلايا درنات البطاطس والطرطوفة تستطيل فى وجود الأوكسين ويمكن إثبات ذلك بقياس الزيادة فى الوزن الرطب fresh weight لأقراص أو مكعبات من هذه الدرنات. تتناسب الزيادة فى الوزن طردياً مع تركيز الأوكسين.

وخطوات إجراء اختبار قطاعات غمد ريشة الشوفان كالآتى:

١ ـ تنبت حبوب (ثمرة برة caryopsis) الشوفان لسلالة نقية (على سبيل المثال صنف فيكتورى Victory) وإنماؤها فى الظلام عند ٢٥°م ورطوبة نسبية حوالى ٨٥٪ ولا يسمح إلا بإضاءة حمراء ضعيفة فى غرفة النمو.

٢ ـ وعندما يصل طول غمد الريشة إلى حوالى ٢٥ إلى ٣٠ مم، فتجمع البادرات ثم تزال القمة الطرفية لمسافة ٤ مم ثم يقطع باقى غمد الريشة إلى قطاعات طول كل منها من ٣ إلى ٥ مم.

٣ ـ جميع القطاعات تغمس فى ماء مقطر لمدة لا تقل عن ساعة ثم توزع عشوائياً إلى أطباق بترى تحتوى على ٢٠ سم^{٢} من محلول الإختبار.

٤ ـ وبعد تحضينها لفترات ١٢ أو ٢٤ أو ٤٨ ساعة على درجة ٢٥°م فإن القطاعات تقاس باستخدام ميكروسكوب تشريح مزود بمنظار ذو تدريج دقيق خاص(١).

لو أن معدل النمو مناسب فإن ١٢ ساعة من التحضين كافية، ولو أن النمو غير مناسب فيمكن أن تطول فترة التحضين إلى ٢٤ أو ٤٨ ساعة (شكل ٧٦).

٣ ـ طريقة إنحناء ساق نبات *Cephalaria*:

يجرى إنبات بذور نبات *Cephalaria tartarica* فى الظلام يتبع هذا النبات العائلة الدبساكية dipsacaceae. تأخذ سيقان البادرات وتزال قممها أى يجرى لها عملية قصل. يجب أن يكون سطح القطع مائل بدرجة كبيرة يوضع الآجار المحتوى على الأوكسين على السطح المقطوع على الجزء السفلى منه. فترة إجراء التجربة ساعتين.

يحدث إنحناء للساق فى المنطقة ناحية الآجار تجرى هذه التجربة فى ظلام دامس أو ضوء خفيف أحمر أو برتقالى أو أخضر. يحدث إنحناء للساق وتقاس زاوية الإنحناء تتناسب زاوية الإنحناء طردياً مع تركيز الأوكسين. قياس زاوية الإنحناء كما فى طريقه الشوفان.

قام بعمل هذه التجربة سودنج Soding وأوضح أنها أكثر حساسية من طريقة غمد الريشة لنبات الشوفان حيث أنه تمكن من قياس تركيزات ضئيلة من الأوكسينات لا يمكن قياسها بطريقة غمد الريشة لنبات الشوفان.

(١) يمكن أن يستخدم هنا طريقة تسجيل النتائج بإستخدام ورق التصوير الحساس لظل القطاعات كما هو الحال فى تسجيل نتائج إختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان.

٤ - طريقة قياس النمو الطولى لجذور نبات الكريس Cress (حب الرشاد) :

يجرى إنبات بذور نبات الكريس على أوراق ترشيح مبللة فى طبق بترى وفى درجة ٢٥ درجة مئوية فى الظلام لمدة يوم. يتم إنتخاب البادرات ذات الحيوية العالية وذات أطوال جذير متساوية. يوضع فى كل طبق بترى ورقة ترشيح ويوضع عليها عدد عشره بادرات ثم يضاف إلى الطبق محلول الأوكسين المراد إختبار تركيزه. توجد معاملة للمقارنة وهى تحتوى على ماء مقطر. بعد يوم كامل يتم قياس طول الجذور وتقدر الزيادة فى الطول وتقارن بالزيادة فى الطول فى المقارنة. يلاحظ أن التركيزات فى هذه التجربة تكون أقل بكثير من التركيزات المستعملة فى حالة غمد الريشة أو الساق حيث أنه من المعروف أن الجذر يحتاج إلى تركيزات من الأوكسين أقل بكثير من تركيزات الساق لكى يحدث النمو. يلاحظ أن التركيزات المستعملة فى الساق قد تسبب توقف نمو الجذور أو تثبيط النمو . عادة تكون التركيزات المستعملة فى الجذور هى حوالى $١^{-١٠}$ جزيئى (أى للأس -١٠ جزيئى) لإندول حامض الخليك بينما تكون التركيزات المستعملة فى الساق هى حوالى $١^{-٥}$ جزيئى (أى للأس -٥ جزيئى) لإندول حامض الخليك.

وخطوات أختبار تثبيط جذر حب الرشاد كما يلى:

١ ـ تعقم البذور ثم تنبت على ورقة ترشيح مبللة بالماء.

٢ ـ وعندما يصل طول الجذور إلى الطول المناسب توضع فى أطباق بترى محتوية على ١٥ سم ^{٣} من محلول الاختبار.

٣ ـ يقاس نمو الجذور بعد ٤٨ ساعة (شكل ٧٦) يحدث تثبيط لنمو الجذر.

٥ - طريقة قياس النمو الطولى لساق نبات البسلة وعباد الشمس:

يقدر فى هذه الطريقة النمو الطولى لأجزاء من السيقان الشاحبة أى النامية فى الظلام. حيث يجرى إنبات البذور فى الظلام. يتم عمل قصل أى إزالة القمة فى ساق البادرة وتستعمل الأجزاء تحت الطرفية من ساق البادرة (السويقة) بطول يتراوح

بين ٣م إلى ١٠م. يجب توحيد طول الساق المقطوع فى التجربة. توضع السيقان فى طبق بترى به محلول الأوكسين وتوضع أطباق بترى فى حضان فى درجة حرارة مناسبة عادة ٢٥م. بعد يوم يتم قياس أطوال السيقان لتقدير مقدار الزيادة فى الطول. يوجد معاملة للمقارنة عبارة عن ماء مقطر. يتم مقارنة الزيادة فى الطول بالزيادة فى طول سيقان المقارنة. تجرى التجربة السابقة فى ظلام دامس أو ضوء خافت أحمر أو برتقالى أو أخضر.

يمكن فى هذه التجربة وأيضاً فى التجارب السابقه عمل تركيزات مختلفة من محلول إندول حامض الخليك وتقدر الزيادة فى الطول فى أجزاء السيقان فى التركيزات المختلفة ويتم رسم منحنى للعلاقة بين تركيز الأوكسين وسرعة النمو أو الزيادة فى الطول ويسمى ذلك بالمنحنى القياسى **standard curve**. يمكن التعرف على تركيز مجهول من الأوكسين بقياس الزيادة فى الطول من التجربة وتقدير التركيز من المنحنى.

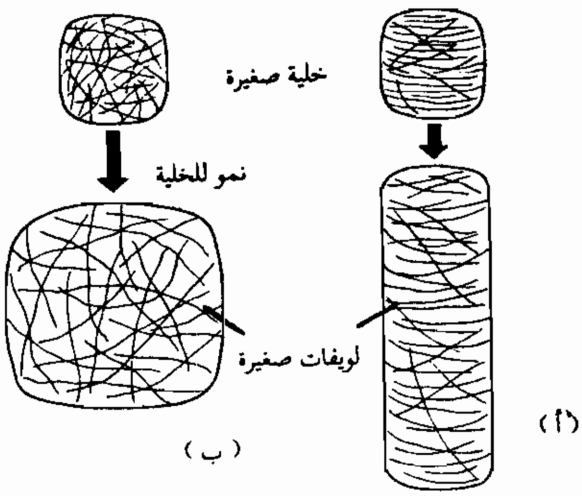
٥- طريقة إنحناء ساق البسلة المشقوق Split pea stem curvature:

فى هذه الطريقة تستعمل أجزاء من سيقان نباتات بسلة عمرها ٩ أيام نامية فى الظلام أى شاحبة. ثم يؤخذ الجزء القمى من السلامية الثالثة بطول ٤سم. يتم عمل شق طولى فى ٣ سم القمية من الساق. توضع أجزاء السيقان المشقوقة طولياً فى ماء مقطر لمدة نصف ساعة وذلك لغسلها من الأوكسينات الموجودة فى الساق endogenous auxin. توضع السيقان فى محلول الأوكسين المراد تقدير تركيزه فى أطباق بترى فى الظلام فى حضان فى درجة حرارة مناسبة عادة ٢٥م. توجد معاملة للمقارنة يستعمل فيها الماء المقطر. فترة التجربة ستة ساعات على الأقل. وحيث أن نفاذية الأوكسين تكون خلال البشرة وليست خلال أنسجة الشق المقطوع فإن الجزء الخارجى من الساق ينمو أسرع من الجزء الداخلى فيحدث إنحناء للشق بحيث ينحنى طرفى الشق للداخل. كلما زاد تركيز الأوكسين كلما زادت درجة إنحناء طرفى الشق للداخل.

أكتشف هذه الطريقة العالمان فنت وفان أوفربيك عام ١٩٣٤ Went and Van Overbeek وقد سميت باسم إختبار البسلة.

يمكن تقدير التركيز كمياً وذلك بتقدير درجة الإنحناء بواسطة صورة الظل shadow graph كما سبق شرحه فى طريقة إنحناء غمد الريشة لنبات الشوفان.

خلايا البشرة متطاولة فتكون إستطالتها أكبر من خلايا النخاع الكروية المضلعة ولذلك يحدث إنحناء لساق البسلة للداخل نتيجة لتأثير الأوكسين حيث أن ترتيب اللويفات الصغيرة فى الجدار الخلوى تختلف فى الخلايا التى ستصبح متطاولة عنها فى الخلايا التى ستصبح كروية (شكل ٧٩).



(**شكل ٧٩**): كيفية ترتيب اللويفات الصغيرة فى جدر الخلايا أثناء نموها.

أ ـ تكون اللويفات متوازية عرضياً تقريباً فى الخلايا الأسطوانية.

ب ـ تكون اللويفات متشابكة أو شبكية تقريباً فى الخلايا الكروية المضلعة.

وخطوات إختبار انحناء الساق المنشقة للبسلة كما يأتى:

١ ـ تنبت بذور البسلة وتنمو بادراتها فى الظلام لمدة ثمانية أيام. تعرض البادرات لمدة ثلاث ساعات للضوء الأحمر يومياً لزيادة حساسيتها للأوكسين.

٢ ـ ثم تجمع السيقان وتزال قمتها ثم يزال جزء طوله حوالى ١ سم طولا بين السلامية الثانية والثالثة وهو المستخدم فى الاختبار.

٣ ـ ثم يغمس الجزء فى ماء مقطر لمدة ساعة لإزالة أى أوكسين طبيعى يمكن أن يوجد فى قطاع الساق.

٤ ـ ثم يشق الجزء طولياً وبعمق ٠,٧ سم ثم يوضع فى طبق بترى محتوى على ٢٥ سم٣محلول الأوكسين، وعادة ما يوضع من خمس إلى ست أجزاء فى طبق بترى فى الطرق العادية.

٥ ـ بعد فترة التحضين التى تتراوح فى حدود ست ساعات يسجل إنحناء قمة الساق المنشقة (شكل ٧٦).

يوجد العديد من طرق التقدير الحيوى الآخرى بعضها ذات إستخدام خاص ومعين أما البعض الآخر فهو ذات تطبيق عام، إلا أن طرق التقدير الحيوى التى ذكرت هنا هى أكثرها استخداما بصفة عامة. ومن الطرق التى ذكرت فإن إختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان أفضلها للتقديرات الكمية إلا أنها تختص بالمركبات التى تنتقل بسرعة بطريقة قطبية. أما فيما يختص بإختبارات قطاعات غمد ريشة الشوفان وقطاعات ساق البسلة المنشقة فإنها تصلح تحت ظروف مدى واسع من التركيزات، إلا أنهما لا يستخدمان للتقديرات الكمية للتركيزات المنخفضة من الأوكسين كتلك التى توجد فى المستخلصات النباتية. أما اختبار تثبيط جذر حب الرشاد فهو أكثر حساسية عن إختبار إنحناء غمد ريشة الشوفان حيث أنه يمكن أن يبين التركيزات المنخفضة جداً وللغاية من الـ IAA. إلا أن الإختلافات البسيطة فى تركيزات الأوكسين لا يمكن إدراكها باختبار تثبيط الجذر حيث أن استجابتها ذات نسبية تقريبية للوغاريتم تركيز الأوكسين.

ثانيا: طرق كيماوية Chemical tests

وتشمل عديد من الطرق ومنها ما يأتى:

١ - إختبار Salkowski :

الأساس فى هذا الإختبار أن إندول حامض الخليك يكون لون عند مزجه بمركبات معينة تسمى دليل أو كشاف reagent. يتناسب تركيز اللون طردياً مع تركيز الأوكسين. يمكن مقارنة تركيز اللون بالعين المجردة مع عينة للمقارنة وتكون النتيجة وصفية. يمكن قياس درجة تركيز اللون بجهاز لقياس الألوان colorimeter كميا حيث يقيس هذا الجهاز درجة إمتصاص أشعة ذات طول موجه معين وتزداد درجة إمتصاص الأشعة كلما زاد تركيز اللون. أى أن الجهاز يقيس درجة تركيز اللون. يمكن تحديد تركيز الأوكسين بواسطه منحنى قياسى standard curve. عند مزج إندول حامض الخليك مع الدليل فإنه يتكون لون أحمر. يتكون هذا الدليل من مخلوط من ٢ مل من محلول كلوريد الحديديك بتركيز ٠,٠٥ جزيئى مع ١٠٠ مل حامض perchloric تركيزه ٥٪. مدة التجربة هى نصف ساعة. يمكن قياس درجة تركيز اللون عند طول موجه ٥٣٠ نانومتر بواسطة الجهاز.

أقل كمية يمكن قياسها بهذه الطريقة هى ٠,٢ ملليجرام/لتر من الأوكسين. فى كثير من الحالات يكون تركيز الأوكسين فى العينة النباتية أقل من ذلك وفى هذه الحالات تستعمل الأختبارات الحيوية لأنها أكثر دقة وحساسية وتقيس تركيزات أقل من الأوكسينات.

٢ - إختبار إيرلش Erlich test :

يعتبر الأساس فى هذا الأختبار هو الأساس فى التجربة السابقة إلا أن تركيب الدليل يختلف. يتكون المحلول المستخدم من P-dimethylaminobenzaldhyde وحامض إيدروكلوريك ويعطى لون أحمر بنفسجى فى وجود الأوكسين وعند إضافة كلوريد الحديديك يتحول اللون إلى البنفسجى.

٣ - إختبار هوبكنز كول Hopkins - Cole test :

يتكون المحلول من حامض glyoxylic وحامض كبريتيك مركز وحيث يتكون لون أحمر بنفسجى فى وجود الأوكسين. درجة حساسية الأختبار ١ ميكروجرام لكل مل ويفضل أن لا يقل عن ٤ ميكروجرام لكل مل.

يمكن إستخدام جهاز لقياس الألوان colorimeter لتقدير التركيز كميا.

٤ ـ إختبار النيتريت Nitrite test :

يحتاج هذا الأختبار تركيزات كبيرة نسبيا من الأوكسين تتراوح بين ٠,٠١ إلى ٠,١٥ ملليجرام لكل مل. يتم تحضير ٥٠ مل من محلول الأوكسين ويضاف إليها ٠,٥ مل محلول صمغ عربى تركيزه ٥٪ ثم يضاف ٢مل محلول نيتريت بوتاسيوم تركيزه ٠,٥٪ ثم يضاف بعد ذلك ٠,٤ مل حامض نيتريك مركز. تضاف المحاليل السابقة على التوالى وبالترتيب السابق. يتم هز المخلوط جيدا ثم يترك لمدة ساعتين على درجة حرارة الغرفة. يتكون لون أحمر فى حالة وجود الأوكسين يتناسب تركيز اللون الأحمر مع تركيز الأوكسين طرديا. يمكن قياس درجه تركيز اللون بواسطة جهاز قياس الألون colorimeter يمكن تقدير تركيز الأوكسين بعمل منحنى قياسى فى هذه التجربة وفى جميع التجارب الثلاثة السابقة.

٥ ـ إختبار كلوريد الحديديك Ferric Chloride test :

يحتاج هذا الأختبار إلى تركيزات كبيرة نسبيا من الأوكسين تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,١ ملليجرام لكل مل. يضاف ٠,٠٥ مل كلوريد حديديك ١٠/١جزيئى إلى ١٠مل حامض كبريتيك. ثم يضاف ١٤,٥ مل ماء مقطر ثم يتم رج هذا المحلول والتبريد حتى درجة حرارة الغرفة. وبعد ذلك يضاف ٥ مل من محلول الأوكسين. ثم الرج جيدا والتبريد حتى درجة حرارة الغرفة. يتكون لون أحمر فى حالة وجود الأوكسين. يمكن قياس تركيز اللون الأحمر كما فى التجربة السابقة.

٦ ـ إختبار إهمان Ehmann test :

يعتبر هذا الأختبار خليط من طريقة Salkowski وطريقة Ehrlich (Van Urk). يضاف للعينة المراد إختبارها دليل أهمان. يكون حجم العينة المختبره خمسون ميكرولتر (Ul) من ٥٠٪ كحول إيثيل ويضاف لها دليل أهمان والذى يتكون من خليط من دليل Salkowski ودليل إيرلش بنسبة ١ : ١. يتم تسخين الخليط لمدة نصف ساعة

على درجة حرارة ٤٥ درجة مئوية حيث يتكون لون ثابت فى حالة النتيجة الإيجابية ثم يتم تخفيف المخلوط إلى واحد مل بواسطة كحول إيثيل تركيزه ٥٠ ٪. درجة تركيز اللون تدل على تركيز الأوكسين. يمكن قياس التركيز بواسطة جهاز قياس الألوان على طول موجه ٦١٥ نانومتر. يمكن التعرف على تركيز الأوكسين من منحنى قياسى للأوكسين.

تعتبر حساسية هذه الطريقة كبيرة حيث أنها حساسة لأجزاء من الميكروجرام. ومن عيوب هذه الطريقة أنه يمكن أنه يتداخل فى القياس أنواع أخرى من الأندول وأيضا بعض الفينولات ومركبات phenylpropanes ولكن لا يحدث ذلك إلا فى حالة وجود هذه المركبات بتركيزات تزيد عن تركيز الأوكسين من مائة إلى ألف مرة أو تزيد.

٧ - طريقة التحليل الكروماتوجرافى بالورق Paper chromatography :

يستعمل فى هذه الطريقة ورق معين خاص بالتحليل الكروماتوجرافى. يمكن فصل الأوكسين على هذا الورق بسهولة وذلك فى وجود مذيبات مناسبة. يظهر الأوكسين على الورقة فى صورة بقعة spot عديمة اللون. ولأظهار اللون لابد من إستعمال صبغات خاصة. حيث يتم رش الورقة بالصبغة أو غمر الورقة فى الصبغة، فيتكون نتيجة لذلك بقعة مصبوغة بلون معين تبعا للون الصبغة. يمكن إستعمال دليل salkowski فيظهر لون البقعة أحمر. يتناسب تركيز لون البقعة طرديا مع تركيز الأوكسين.

٨ - طريقة التحليل الكروماتوجرافي بالطبقة الرقيقة Thin layer chromatography :

يستعمل فى هذه الطريقة نوع معين من السيليكاجل silica gel وتستخدم فى صورة طبقة رقيقة على لوح زجاجى أو ما يشابهه. يمكن فصل الأوكسين بسهولة على السيليكاجل فى وجود مذيبات مناسبة. يظهر الأوكسين على السيليكاجل فى

صورة بقعة عديمة اللون. لإظهار هذه البقعة لابد من صبغها. يتم رش طبقة السيليكاجل بصبغة معينة تصبغ البقعة بهذه الصبغة تبعا للون الصبغة. فى حالة إستعمال دليل Salkowski يكون لون البقعة أحمر يتناسب تركيز لون البقعة طرديا مع تركيز الأوكسين. يمكن قياس تركيز الأكسين فى البقعه الملونه وأيضا فى الطريق السابقه بواسطه جهاز scanner.

٩ - طرق سيريولوجية Radio - Immunoassay (RIA):

يتم تحضير أجسام مضادة antibodies وذلك بإرتباط أى تزاوج coupling أندول حامض الخليك مع ألبيومين مصل الدم serum albumin فى وجود الفورمالدهيد. يتم قياس تركيز إندول حامض الخليك الحر فى المجموع الخضرى لنبات الذرة بهذه الطريقة. ولكن فى حالة إستخلاص الأوكسين من أنسجة النبات يمكن أن يحدث خطأ فى تقدير التركيز حيث يحدث أثناء الأستخلاص تحلل قلوى للأوكسين alkaline hydrolysis. يمكن بهذه الطريقة عمل تقديرات كثيرة للنبات الواحد فى زمن قليل حيث يمكن عمل مئات من التقديرات فى اليوم الواحد مع درجة عالية جدا من الحساسية.

أساس هذه الطريقة أن الهورمون النقى يعامل باليود المشع ويخلط بالعينة المراد إختبارها والتى تحتوى على هورمون غير مشع. يتنافس الهورمون المشع والهورمون الغير مشع المراد إختباره على التفاعل مع الأجسام المضادة الخاصة بالهورمون. كلما زاد تركيز الهورمون فى العينة المراد إختبارها كلما قل أحتمال تفاعل الهورمون المشع مع الأجسام المضادة. وبقياس تركيز الهورمون المشع المرتبط مع الأجسام المضادة وذلك بواسطة جهاز عداد أو قياس لتركيز الأشعاع يمكن معرفة تركيز الهورمون فى عينة النبات وذلك بأستعمال منحنى قياسى standard curve. وكلما زاد تركيز الهورمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة كلما قل تركيز الهورمون العادى فى العينة المختبرة والعكس صحيح. لكى يتم قياس تركيز الهورمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة لابد من فصله من المحلول ويكون ذلك بأستعمال طريقة الهجره فى مجال كهربائى

electrophoresis. حيث يتم فصل الهورمون عن الهورمون المرتبط بالأجسام المضادة. ويوجد طريقة أخرى لفصل الهورمون المشع المرتبط بالأجسام المضادة عن الهورمون المشع أو العادى وذلك بعمل إرتباط بين الأجسام المضاده ومادة غير ذائبة فى الماء insoluble support مثل السيليلوز ثم خلط الأجسام المضادة الملتحمة مع السيليلوز مع مخلوط الهورمون المشع والهورمون العادى الموجود فى العينة المراد أختبارها وبعد حدوث التفاعل تجرى عملية طرد مركزى حيث ترسب الأجسام المضادة الملتحمة مع السيليلوز والمرتبطة مع الهورمون المشع أو الغير مشع وذلك لثقل وزنها ويبقى فى supernatant الهورمـون ثم يجرى التخلص من supernatant وذلك بسبكه ويبقى فى الراسب الهورمون الملتحم بالسيليلوز والمرتبط بالأجسام المضادة (شكل ٧٩أ).

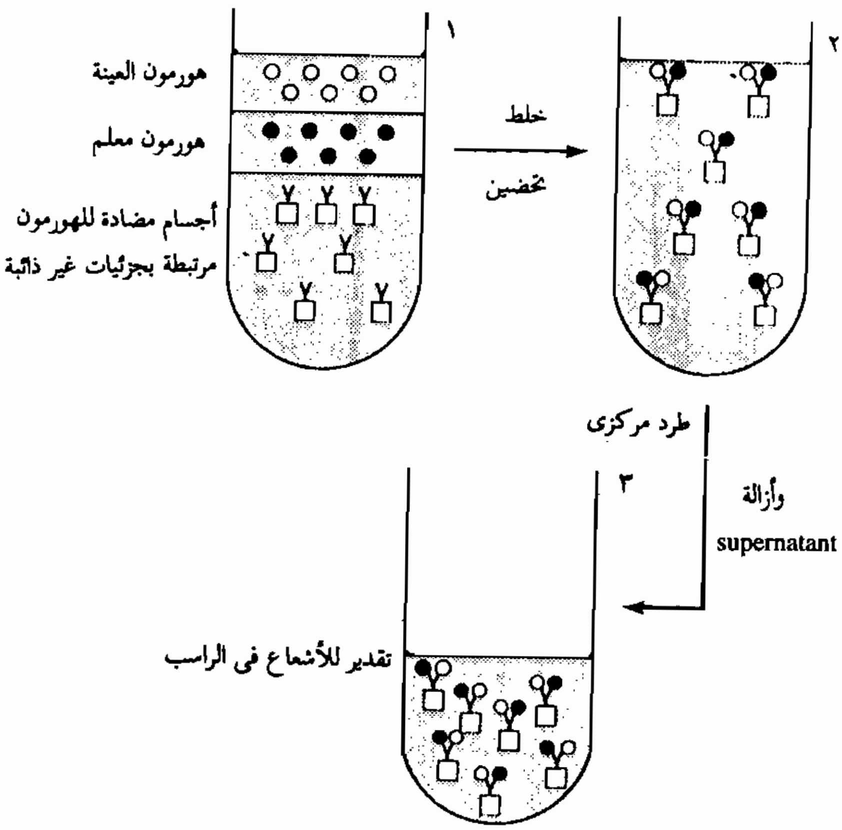
١٠ ـ طريقة الأنزيم الغير قابل للأنتقال Immobilized enzyme assay :

وفيها تستخدم أنزيمات معينة غير قابلة للأنتقال وتقوم بعمل تفاعل معين فى النبات. يمكن أيضا بهذه الطريقة عمل تقديرات كثيرة للنبات الواحد فى زمن قصير حيث يمكن عمل مئات من التقديرات فى اليوم الواحد مع درجة عالية جدا من الحساسية.

١١ ـ الطرق اللونية باستخدام Ultra Violet spectrophotometer :

عند استخلاص أوكسين نباتى وتنقيته تماما (لأن هذه الطريقة لا تصلح على الاطلاق إلا إذا كان IAA نقى تماما). يمكن إذابة هذا الأوكسين النقى فى مذيب ويفحص بواسطة أشعة UV. يمكن التعرف على تركيزه بقياس درجة الامتصاص للأشعة فوق بنفسجية عند طول موجة ٨٢٠ نانوميتر.يمتص إندول حامض الخليك هذا الطول من الأشعة فوق البنفسجيه بشدة. يستعمل فى ذلك جهاز uv spectrophotometer. يمكن عمل منحنى قياسى لقياس التركيز.

وفى هذه الطريقة لابد وأن يكون الأوكسين نقى تماما فيمكن أن تستعمل بكفاءة عند إذابة مسحوق الأوكسين النقى فى مذيب عضوى مناسب ثم تخفيفه بالماء وتقدير تركيزات مختلفة من الأوكسين لعمل المنحنى القياسى للتركيزات standard curve.



(شكل ١٧٩أ) : طريقة Radio-immunoassay.

١ ـ أنبوبة بها هورمون عادى المراد أختبار تركيزه وهورمون معلم وأجسام مضاده للهورمون.

٢ ـ خلط وتحضين لمحتويات الأنبوبة وأرتباط الهورمون بالجسم المضاد.

٣ ـ راسب بعد القوة الطاردة المركزية وتقدير تركيز أو درجة الأشعاع فى هذا الراسب.

وفى حالة إستخلاص الأوكسين من عينة نباتية فلا يمكن أستعمال هذه الطريقة إلا بعد تنقية الأوكسين بواسطة paper or thin layer chromatography ثم إذابة الأوكسين المفصول على ورق الكروماتوجرافى أو على السيليكاجل فى مذيب عضوى مناسب ثم يتم تقديره بهذه الطريقة. يفضل أن تكون الإضاءة أثناء هذه الخطوات ذات لون برتقالى أو أحمر أو أخضر.

١٢ ـ طريقة Gas Chromatography :

وتعتبر هذه من أدق الطرق حيث أن المشتق المتطاير للأوكسين أى IAA يمكن فصله عن الشوائب الموجودة فى مستخلص الأوكسين وذلك برفع درجة الحرارة بدرجة كبيرة. ويحدث ذلك الفصل عند مرور المشتق المتطاير للأوكسين فى غاز عمود column به مجموعة من المواد معينة، وهذه المواد تمتص الأوكسين وأيضا تمتص كل شائبة من الشوائب ولكن تمتص الأوكسين على حدة وفى زمن معين وأيضا كل شائبة على حدة وفى زمن معين differentially absorbs hormones and impurities. وبذلك يتم فصل الأوكسين عن الشوائب ويصبح فى صورة نقية فى داخل الجهاز.

يتم إجراء الأختبار ولابد من تنقية أوكسين العينة المستخلصة من النبات قبل حقنها و يكون ذلك بطرق عديدة أما الأوكسين النقى فيتم حقنه مباشرة. يتم حقن الأوكسين النقى فى الجهاز بواسطة حقنه. توجد وحده تسخين بالجهاز لرفع درجة حرارة الأوكسين المحقون بدرجة كبيرة حتى يصبح شق متطاير فى صورة غازية يمر على العمود ويتم رسم خط بواسطة الجهاز.

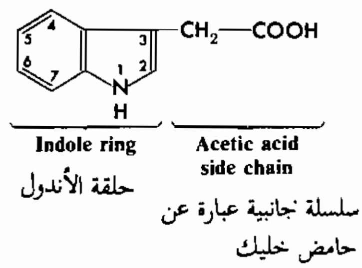
ويكون الخط مستقيم ولكن به أشكال تشبه رقم ٨ وقد تكون واسعة إلى ضيقة جدا ولها قمم peaks وفى حالة وجود الأوكسين فى العينة فإنه يتكون شكل ٨ ذو قيمة معينة محدودة على مسافة معينة من بدء التسجيل أى من بداية الخط.

١٣ ـ طريقة Gas Chromatography- Mass Spectrometry (GC-MS):

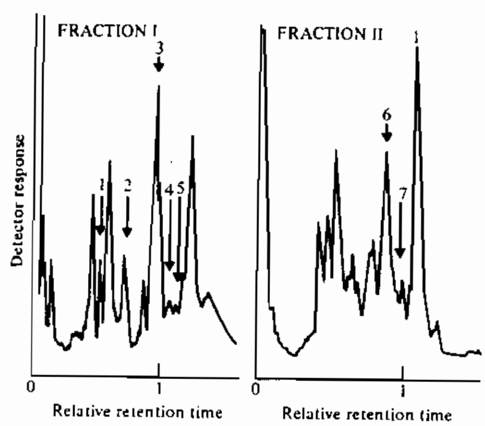
يمكن بهذه الطريقة قياس التركيز بكفاءة وبسرعة وبدقة وفى تركيزات أثرية أجزاء من nanogram. يستعمل فى هذه الطريقة أندول حامض الخليك معلم أى مشع ويكون الإشعاع فى ذرات الإيدروجين أى تكون فى صورة ديوتيريم deuterium. يستعمل فى هذه الحالة هذا الأوكسين كأوكسين داخلى قياسى a desirable internal standard. أمكن تخليق أندول حامض خليك فيه ذرات إيدروجين مشعة فى حلقة الأندول على ذرات الكربون رقم ٤و ٥ و ٦و ٧ (شكل ٨٠). فى حالة أندول حامض الخليك الذى يحتوى على ذرة إيدروجين مشعة أى

ديوتيريم على ذرة الكربون رقم ٢ فى السلسلة الجانبية لحلقة الأندول وليست فى حلقة الأندول نفسها يمكن أى يحدث تبادل للديوتيريم فى حالة وجود محلول قلوى والعكس صحيح فى حالة أندول حامض الخليك السابق والذى يحتوى على أربعة ذرات ديوتيريم فى حلقة الأندول ويكتب هكذا d4 -IAA حيث أنه ثابت تماما حتى فى المحلول القلوى ولا يحدث أى تبادل للديوتيريم is not exchanged in alkaline solution ولذلك فإنه يستعمل كأوكسين قياسى داخلى internal standard حتى فى الأختبارات التى يحدث فيها تحلل قلوى alkaline hydrolysis. بعد إضافة تركيزات محدده من d4 -IAA وأيضا من ^{14}C-IAA وذلك للسماح لعمل monitoring. ويتم تنقية إندول حامض الخليك بواسطة DEAE-Sephadex وأيضا بواسطة طور عكسى من reverse phase of HPLC-HPLC .. يتم عمل methylation أ ى إدخال مجموعة ميثيل بواسطة مركب diazomethane للعينة ثم يتم عمل تحليل كروماتوجرافى على عمود GLC متوسط القطبية polarity ويفضل أن يكون العمود أنبوبة شعرية من الكوارتز جدارها مغلف coated. يمكن عمل monitoring لأندول حامض الخليك النباتى فى حالته الجزيئية الأيونية molecular ion ,١٨٩ والجزء الكبير من الجزيئ فى صورة أيونية major fragment ion ,١٣٠ . بينما يقاس d4 -IAA عند الكتلة mass ١٩٣ وأيضا عند ١٣٤ . وحيث أن كمية d4 -IAA المضافة معلومة يمكن حساب كمية IAA فى النبات. فى حالة إختلاف النسبة المئوية لـ d4 -IAA فى الوزنين يكون دليل على وجود أيون ملوث فى أحد الوزنين. يمكن زيادة كفاءة هذه الطريقة بإستعمال tandem mass spectrometry أو negative ion mass spectrometry .

أستخدام طرق gas chromatography مع طرق mass spectroscopy أى gas chromatographic-mass spectroscopic methods قد تطورت بدرجة كبيرة بحيث أنها تقيس هورمونات النمو plant growth hormones بكفاءة عالية. تحتاج هذه الطرق إلى أجهزة مكلفة غالية الثمن ومعقدة ولكنها فائقة الدقه فى قياساتها الكمية للهورمونات ولايوجد لها مثيل فى هذا الصدد. وقد أمكن أستخدام هذه الطريقة فى تقدير تركيز خليط من الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات وحامض الأبسيسك فى لوز القطن (شكل ٨٠ أ).



(شكل ٨٠) : التركيب الجزيئي لأندول حامض الخليك وذرات الكربون مرقمه.



(شكل ٨٠ أ) : أستخدام GC-MS في تقدير الهورمونات النباتية في لوز القطن.

١ ـ أندول حامض الخليك

٢ ـ ABA

٣ ـ جبريللين ١٣

٤ ـ جبريللين ٤، ٧

٥ ـ جبريللين أو حامض جبريلليك

٦ ـ dihydrozeatin

٧ ـ zeatin

تدل peaks على وجود المركبات السابقة.

التأثيرات الهامة للأوكسينات وبعض التطبيقات الاقتصادية لها

للأوكسينات تأثيرات كثيرة على النباتات الزهرية وأهمها ما يأتى:

١ ـ استطالة الخلايا Cell Elongation:

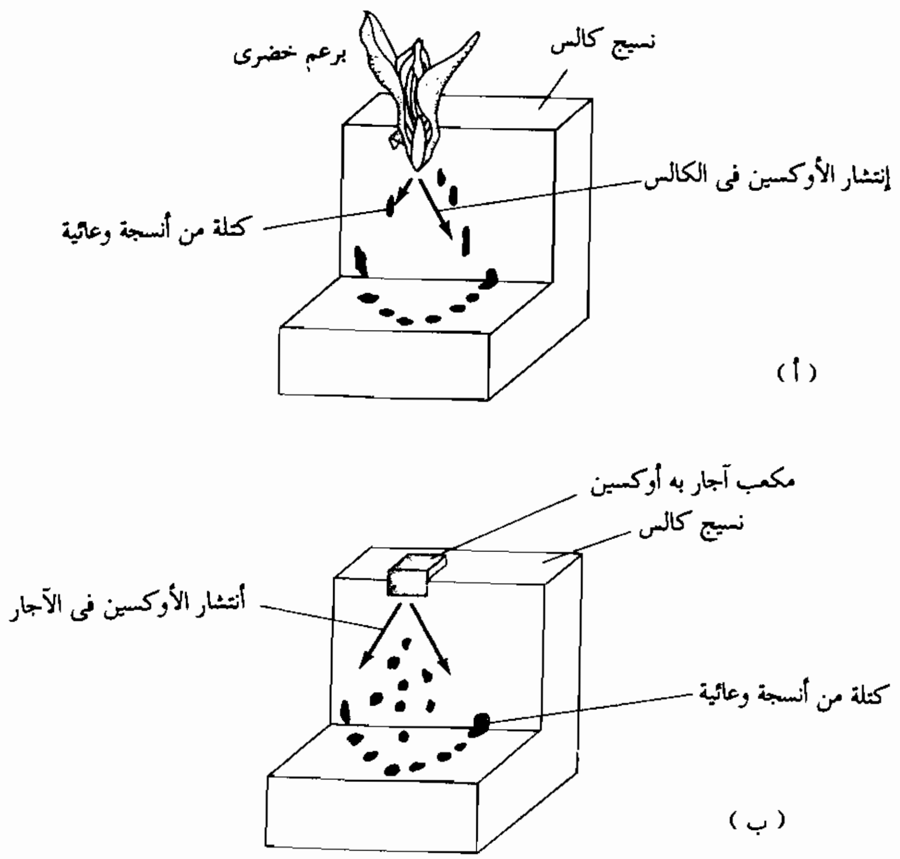
من المعروف أن الأوكسينات تسبب استطالة للخلايا وكبرها فى الحجم حيث تؤثر على الجدار الخلوى وقد وجد علاوة على ذلك أنها عامل فعال فى تكوين mRNA وأنه لابد من وجود الأوكسين لكى يتكون هذا الحامض النووى بحالة عادية ومن المعروف أن هذا الحامض النووى مع الأنواع الأخرى تشترك فى تخليق البروتين والذى يلزم تكوينه بدرجة واضحة لكى يملأ الخلية ولكى لا تصبح الخلية فيها جزء كبير فارغ نتيجة لتمدد الجدار وعدم تخليق بروتين جديد. ومن المعروف أن تخليق البروتين يلزم له مباشرة وجود السيتوكينيات كما سيلى ذكره. أى أن تأثير الأوكسين على تخليق البروتين يكون بطريقة غير مباشرة وذلك عن طريق تحكمه فى تخليق mRNA أى RNA رسول .

٢ ـ إنقسام الخلايا Cell Division:

من المعروف أن الأوكسينات تأثيرها الرئيسى هو على استطالة الخلايا ولكن قد يكون لها دور أيضا فى إنقسام الخلايا وفيما يلى حالات كثيرة تثبت ذلك :

أ ــ من المعروف والثابت الآن أن التغليظ الثانوى الذى يحدث فى الأشجار فى فصل الربيع هو نتيجة لوجود الأوكسينات وأيضا الجبريللينات. فمن المعروف أنه فى كثير من النباتات والأشجار تحدث فترة سكون للأشجار وفى بعض الأنواع تتساقط الأوراق تماما وذلك فى النباتات متساقطة الأوراق حيث يكون نشاط النبات تقريبا معدوم. وعند حلول الربيع يحدث نشاط للبراعم الساكنة وتبدأ فى النمو وتعتبر مراكز نشطة لتخليق الأوكسينات حيث تنتقل الأوكسينات من هذه البراعم إلى الأفرع والسيقان والجذور ومن المعروف أنها مسئولة عن نشاط خلايا الكامبيوم وأنها أساسية لتكوين وتشكل خلايا نسيج الخشب بينما الجبريللينات تنشط فى ذلك

الوقت أيضا ولكنها هى المسئولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وكما سبق أن درسنا أن التغليظ الثانوى ينتج عنه خشب ثانوى ولحاء ثانوى وهذه الحالة من الوجهة التشريحية البحتة ولكن من الوجهة الفسيولوجية الحديثة أن الأوكسين هو المسئول عن تكوين وتشكل نسيج الخشب وأن الجبريللينات هى المسئولة عن تكوين وتشكل خلايا اللحاء. وقد أمكن إثبات ذلك كل على حدة باختبار تأثير الأوكسينات على حدة واختبار تأثير الجبريللينات على حدة وذلك خارج النبات وذلك باستعمال مزارع الأنسجة (شكل ٨١).



(شكل ٨١) : تأثير الأوكسين على تكوين الأنسجة الوعائية.

أ ـ برعم من نبات الشيكوريا *Cichorium intybus* فى نسيج كالس.

ب ـ مكعب آجار به أوكسين فى نسيج كلس.

بأستعمال مكعب من نسيج الكالس موجود فى بيئة مناسبة ووضع قمة نامية لساق نبات على قمة هذا الكالس فإن خلايا الكالس يحدث فيها تغيير فى التركيب على إمتداد القمة النامية للساق (نسيج الكالس callus عبارة عن نسيج يتكون من خلايا رقيقة الجدر لا تكون فى مجموعها شكل معين disorganised محدد) حيث تتكون أجزاء فى الكالس عبارة عن أنسجة وعائية وتحتوى هذه الأنسجة الوعائية على نسيج الخشب. وبتكرار نفس التجربة على مكعب آخر من الكالس مع استبدال القمة النامية بمكعب من الآجار يحتوى على إندول حامض الخليك فإن النتيجة تكون متماثلة تماما فى الحالتين ويدل ذلك على أن الأوكسين له دور فى إنقسام خلايا الكمبيوم وأيضا له دور فسيولوجى ثان وهو تشكل الخلايا الناتجة من إنقسام الكمبيوم وتحولها لخلايا الخشب أى خلايا الأوعية الخشبية. يعنى التشكل أو التميز differentiation هو أخذ الخلية الشكل النهائى والذى يتلاءم مع وظيفتها ويحدث ذلك فى خطوات عديدة ومثال ذلك تحول الخلية المرستيمية إلى خلية وعاء خشبى.

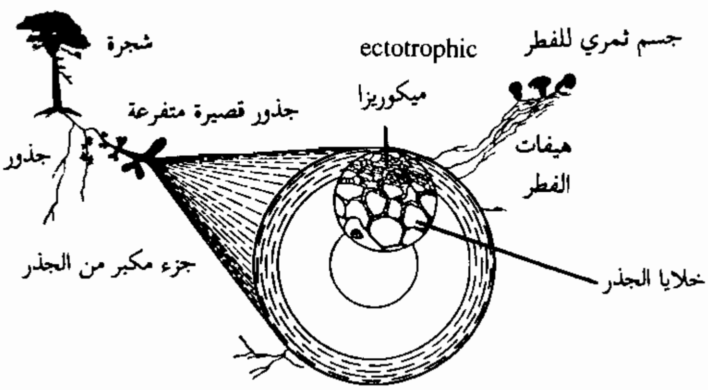
مما سبق أيضا يتضح أنه فى القمم النامية للساق فإن الأوراق الصغيرة الموجودة فى البرعم leaf primordia وأيضا أثناء كبر هذه الأوراق فى الحجم فإنها تكون أماكن نشيطة لتكوين وتخليق الأوكسين بتركيز عالى نسبيا. ينساب الأوكسين من قاعدة الورقة الصغيرة ويسبب تخليق لأنسجة الخشب بالقرب من قاعدة الورقة الصغيرة أى أن الأوكسين يشارك فى تكوين الخشب الأبتدائى فى القمة النامية وأيضا فى تكوين الخشب الثانوى أثناء التغليظ الثانوى فى الجذور والسيقان. تلخيصا لما سبق فإن للأوكسين دور هام فى إنقسام خلايا الكمبيوم حيث يساعدها على الإنقسام فى وجود السيتوكينينات وأيضا يسبب حدوث تشكل أى تميز للخلايا لتتكون بذلك خلايا الأوعية الخشبية. وبإجراء تجارب مشابهة أتضح أن الجبريللينات تنساب من الأوراق الصغيرة وأيضا فى البراعم الطرفية وتكون نسيج اللحاء الأبتدائى والثانوى أى أن لها دور فى تشكل الخلايا إلى لحاء.

ب ـ أنواع التطعيم المختلفة تعتبر أيضا حالة تطبيقية لوجود الأوكسين. فمن المعروف فى كثير من أشجار الفاكهة يستخدم أصل ويكون له جذور، ويستخدم هذا

الأصل لأن له مميزات لا توجد أو لا تتوفر فى الطعم ومثال ذلك مقاومة الأصل للأمراض أو له مميزات أخرى وعند وضع الطعم على الأصل فإنه ضرورى لنجاح عملية التطعيم أن يتكون فى منطقة الاتصال بين الأصل والطعم أنسجة وعلى الأخص وبالضرورة وجود أنسجة وعائية أى تحتوى على كل من نسيجى الخشب واللحاء لكى يكون التوافق تام بين الأصل والطعم. وهذه الحالة أيضا ثبت أن للأوكسينات فيها دور كبير، حيث تنتقل الأوكسينات من البراعم والقمم النامية وتنتقل قطبيا إلى أسفل فى مكان الالتحام بين الأصل والطعم لتساعد على تكوين وتشكل خلايا الأنسجة الوعائية وذلك بالاضافة إلى الجبريللينات كما سبق شرحه.

حـ ـ من المعروف أن كثير من العقد والتدرنات التى تتكون على النبات تقع تحت تأثير الأوكسينات الطبيعية فمن المعروف أنه لتكوين العقد الجذرية فى جذور النباتات البقولية فإنه يوجد نشاط كبير ملحوظ فى أماكن هذه العقد للأوكسينات الطبيعية وأهمها IAA. وأيضا فى الحالة المرضية لكثير من النباتات مثل التفاح والعنب وعباد الشمس والخوخ الخ والتى تتسبب عن البكتيريا *Agrobacterium tumefaciens* حيث تسبب هذه البكتيريا مرض crown gall أى التدرن التاجى. حيث يلاحظ فى ساق النبات عند سطح التربة وجود أورام تصل إلى حجم كبير فقد تصل إلى قطر ٨ ـ١٠ سم وقد تزيد وأن فى هذه المناطق يكون نشاط IAA كبير جدا وملحوظ عنه فى الأجزاء الأخرى و فى نفس هذه المنطقة فى النباتات السليمة. ونفس القاعدة تنطبق على العقد الجذرية root knots التى تتسبب عن الديدان الثعبانية أى النيماتودا nematodes وهى المسئولة عن حدوث العقد والتدرنات الكثيرة التى توجد على الجذور والسبب فى ذلك هى أنواع من النيماتودا تتبع الجنس *Meloidogyne* حيث وجد أن فى مناطق هذه العقد نشاط كبير واضح لـ IAA وذلك بالمقارنة بالجذور السليمة كما وجد فى المناطق المصابة خلايا كبيرة الحجم تسمى بالخلايا العملاقة giant cells. وبالأضافة إلى ذلك توجد حالة الميكوريزا mycorrhiza وهى فطريات تعيش معيشة تعاونية مع جذور النباتات الراقية. وجد أن الجذور فى هذه الحالة تكون قصيرة عن المعتاد ومحدودة النمو وأكثر تفريعا كما أن

خلايا قشرة الجذور تكون كبيرة الحجم عن المعتاد وقد أمكن إثبات أن هذا التأثير راجع إلى وجود أندول حامض الخليك. وجد أن بعض فطريات الميكوريزا يمكن أن تفرز إندول حامض الخليك فى البيئة فى المعمل مثل *Boletus* و *Coprinus* و *Amanita*. وجد أن الجذور المقطوعة من نبات الصنوبر *Pinus sylvestris* وبواسطة مزارع الأنسجة حيث يتم زراعة الجذور المعقمة فى بيئة معقمة وتعامل بتركيزات مختلفة مناسبة من إندول حامض الخليك وجد أن الأوكسين له دور فعال فى ذلك وأن التركيزات المرتفعة من الأوكسين ٥ ـ ١٠ ملليجرام أوكسين/لتر تسبب قصر ملحوظ وأيضا تفريع فى كثير من الجذور الناتجة ومشابهة فى ذلك جذور الميكوريزا (شكل ٨٢).



(شكل ٨٢): ectotrophic ميكوريزا لشجرة من المخروطيات conifers. يكون الفطر غلاف علي سطح الجذر وتنتشر هيفات الفطر بضعف علي المتبقيات علي سطح التربة مثل أوراق الأشجار المتساقطة litter ثم تكون علي سطح التربة أجسام ثمرية تشبه عيش الغراب.

ومما هو جدير بالذكر أيضا أن جميع الأمراض السابقة وهى مرض التدرن التاجى ومرض تعقد الجذور يتواجد فى مكان الإصابة خلايا كبيرة الحجم كما وجد المؤلف خلايا كبيرة الحجم بدرجة ملحوظة فى سيقان نبات فجل الجمل *Sysimbrium irio* المتدرنة المصابة بمرض البياض الزغبى. كما توجد خلايا كبيرة الحجم hypertrophy أيضا فى نسيج أو أنسجة جذور النبات المحتوية على بكتريا العقد الجذرية كما توجد أيضا فى الميكورهيزا.

وحيث أن البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* المسببة لمرض التدرن التاجى فى كثير من النباتات لها دور هام فى الهندسة الوراثية كما أنها تنتج إندول حامض الخليك بكثرة حيث أن تركيبها الوراثى أى أن جزء من المادة الوراثية متخصص لإنتاج إندول حامض الخليك وجزء آخر متخصص لأنتاج السيتوكينين فسيتم شرح ذلك تفصيليا فى الباب الحادى عشر.

د ـ تكوين الجذور على العقل (التجذير)

من المعروف أنه فى كثير من النباتات الاقتصادية نلجأ إلى زراعة هذه النباتات وذلك بواسطة العقل كما يستعمل ذلك كثيرا فى نباتات الفاكهة وبعض نباتات الخضر ونباتات الزينة وبعض أشجار الغابات. فقد وجد أن غمر العقل الساقية وقد تكون أيضا عقل ورقية كما فى بعض النباتات فى محلول مخفف أو مركز من الأوكسينات ويمكن أيضا بدلا من الغمر فى المحاليل يمكن معاملة العقل بالرش بمحلول أو بعجينة من الأوكسين أو غمسها فى مسحوق من الأوكسين. وعامة فهذه طرق مختلفة للمعاملة وتستعمل هذه المعاملات المختلفة لتشجيع تكوين الجذور العرضية على العقل الساقية وبالتالى يساعد ذلك فى نجاح عملية التعقيل والزراعة بالعقل. فقد وجد أن الأوكسينات تساعد على تنشيط خروج الجذور العرضية وبالتالى سرعة خروجها ، وهذا عامل محدد هام فى نجاح الزراعة بالعقل حيث أن التأخير فى خروج الجذور العرضية للعقل بعد زراعتها ينتج عنه جفاف العقلة وموتها، أو خروج الجذور العرضية بكمية كافية وبسرعة ملائمة فإن ذلك يساعد على اتصال العقلة الساقية بالتربة اتصال سليم عن طريق الجذور وينتج عن ذلك نبات عادى لسرعة خروج الجذور العرضية. قد وجد فى كثير من الحالات أن النباتات التى يتم اكثارها بالعقل يمكن أن تنجح هذه العملية بدرجة أكبر عند معاملتها بالأوكسينات ومن أهم الأوكسينات المستعملة فى هذه الحالة أندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك. وجد فى بعض الحالات والتى يصعب فيها تكوين الجذور العرضية طبيعيا أن المعاملة بالأوكسينات وخاصة التركيبية تساعد على خروج الجذور ونجاح الزراعة بالعقله.

وقد وجد فى بعض الحالات أن معاملة العقلة الساقية بمخلوط من أكثر من أوكسين يساعد بدرجة كبيرة جدا على كفاءة خروج الجذور العرضية عنه إذا استعمل أحدهما فقط. ومثال لذلك فى العقل الساقية لنبات *Camellia* فإن معاملة العقل الساقية بمخلوط من أندول حامض البيوتريك مع نفثالين حامض الخليك فإن ذلك يساعد على خروج الجذور بدرجة كبيرة. وهذا لا يعنى أن أى نبات يمكن أن نزرعه بالعقلة بعد معاملتها بالأوكسينات فإن كثير من النباتات التى لا تكون الجذور العرضية بسهولة ولا تنجح فيها عملية التعقيل تماما فإن المعاملة بالأوكسينات لا تفيد أيضا مثل المانجو والكافور والجوز والجاكاراندا. وقد وجد فى حالات أخرى عكس ما سبق حيث أن معاملة العقل الساقية، والتى تكون الجذور العرضية بكفاءة عالية طبيعيا، بواسطة الأوكسين تقلل بدرجة كبيرة من كفاءة تكوين الجذور العرضية والتعليل لذلك أن العقل الساقية تحتوى على تركيز من الأوكسين إلى حد ما مناسب وأن إضافة كمية أخرى من الأوكسينات قد تسبب تأثير عكسى. معنى ذلك أنه عند استعمال الأوكسينات فى الزراعة بالعقل لابد أن نكون على علم بفاعلية الأوكسينات فى تكوين الجذور العرضية للنبات المراد زراعته.

وأما عن التفسير العلمى لذلك فإن إندول حامض الخليك يشجع خلايا فى الجذر، عادة تكون البريسيكل وقد تشارك معها خلايا الأندودرمس تبعا لنوع النبات، على الأنقسام لتكوين الجذور الجانبية ومنها الجذور الثانوية. ولذلك فإن خروج الجذور الثانوية من الجذر الأصلى يرجع إلى نشاط خلايا البريسكيل بدرجة كبيرة ويكون ذلك نتيجة لتنشيط الأوكسين لهذه الخلايا وذلك بدفعها على الأنقسام بسرعة كبيرة. وأيضا نفس الحالة فى الجذور العرضية حيث أن الأوكسين يشجع خلايا الكمبيوم, على الأنقسام فى عقلة الساق وتنشط لتكون الجذور العرضية. وقد ينشط الأوكسين خلايا مرستيمية أخرى وتنقسم لتشترك فى تكوين الجذور العرضية حيث أنه من المعروف أن بعض الخلايا البالغة وخاصة البارنشيمية تستعيد قدرتها على الإنقسام.

وفيما يلى شرح للطرق العملية المختلفة المستعملة لمعاملة العقل لنجاح عملية التعقيل أى لتنشيط التجذير أى خروج الجذور العرضية.

طرق المعاملة بالأوكسينات

تعامل أجزاء مختلفة من النبات بالأوكسينات وفيما يلى وصف لطرق المعاملة فى كل حالة

أولا: العقل الساقية Stem cuttings

تعامل العقل الساقية بطرق مختلفة وهى ما يأتى:

١ ـ طريقة عجينة اللانولين Lanolin Paste

يعتبر اللانولين مادة دهنية طرية ناعمة soft fat يتم تحضيرها من الصوف وهى تتميز بذوبان الأوكسينات فيها. تستخدم عجينة اللانولين بما فيها من أوكسينات ذائبة فى معاملة أعضاء نباتية عديدة. عند معاملة قاعدة العقلة بعجينة اللانولين فإنها تلتصق بها جيدا ولا تجف وبذلك فإنها تحافظ على تركيز الأوكسين على الجزء المعامل لمدة طويلة. يعتبر اللانولين عجينة خاملة ليس لها أى تأثير على النبات ويعتبر ذلك أحد مميزاتها . يمكن أن يذوب فى اللانولين إندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك بتركيزات تتراوح بين ٠,٠١ إلى ٠,٠٥ فى المائة.

٢ ـ طريقة المحلول المخفف Dilute Solution method

تعتبر أول طريقة أستعملت فى هذا الصدد ولازالت هى الطريقة المستعملة والمفضلة حتى الآن. حيث يتم تحضير محلول مركز من الأوكسين وذلك بإذابة الأوكسين فى كحول إيثانول ٩٥٪ ثم يتم تخفيفه حتى التركيز المناسب. تستعمل تركيزات تتراوح بين ٠,٠٠٠٥ إلى ٠,٠١ فى المائة وذلك يتوقف على نوع الأوكسين المستعمل ونوع المعاملة. يتم غمر الجزء القاعدى من العقل أو يتم غمر العقلة فى محلول الأوكسين لمدة ساعات. تختلف المدة بإختلاف نوع العقله وأيضا

الظروف البيئية أثنا غمر العقل ففى حالة العقل الطرية أى عقل الخشب الرخو العصيرى softwood فإنها تحتاج من ساعة إلى ساعتين فى تركيز ١ .,٠٪ أو ١٠ إلى ٢٤ساعة فى تركيز ٠,٠٠٠٥٪. وفى حالة العقل الصلبة أى عقل الخشب الصميمى المأخوذة فى الشتاء فإنه يفضل فى بعض الحالات تخزينها أولا على درجة حرارة منخفضة تتراوح بين ١/٢ إلى ١٠ درجة مئوية لمدة شهر أو شهرين لكى يتكون نسيج كالس على الجزء القاعدى من العقلة وذلك قبل المعاملة بالأوكسين. ثم تستعمل طريقة الغمر السابق ذكرها. وجد أن غمر العقلة كلها فى محلول الأوكسين أفضل من غمر قاعدة العقلة فقط وذلك فى بعض النباتات مثل قصب السكر. تعتبر التركيزات السابقة متوسط عام ويمكن أستعمال تركيزات أخرى خلاف ذلك وحيث يتوقف ذلك على نوع النبات وموعد أخذ العقلة ونوع الأوكسين.

أمكن حقن محلول الأوكسين داخل العقله وذلك فى حجرة مفرغة من الهواء وذلك لزيادة سرعة إمتصاص الأوكسين داخل العقلة ولكن لم تعط هذه المعاملة ميزة مؤكدة فى هذا الصدد بالمقارنة بالمعاملة العادية لغمر العقل ولذلك يفضل أستعمال طريقة الغمر العادية.

وفيما يلى شرح تفصيلى لكيفية تجهيز محلول الأوكسين.

وفى هذه الطريقة يجهز التركيز المطلوب عن طريق وزنه معلومه من منظم النمو المختار والذى يستجيب له النبات المتكاثر بإخراج مزيدا من الجذور الجيدة على قواعد العقل. ثم تذاب هذه الوزنة أولا فى ١ ـ ٣ سم٣ من الكحول المناسب ثم تكمل بالماء للحجم المعلوم الذى يحقق التركيز المطلوب. فمثلا إذا أريد تجهيز لتر من اندول حمض الخليك بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون فيوزن جرام واحد من مسحوق اندول حمض الخليك ثم يذاب فى كأس نظيفة صغيرة بها ٣ ملليلتر من كحول الايثايل حتى يذاب تماما مسحوق اندول حامض الخليك ثم ينقل إلى دورق معيارى يحتوى ٩٩٧ سم٣ من الماء ويقلب جيدا. ثم ينقل منه الحجم المطلوب إلى كأس

زجاجية واسعة الفوهة. بعد ذلك تغمس قواعد العقل المجهزة فى هذا المحلول لمدة تختلف بإختلاف العديد من العوامل منها على سبيل المثال نوع العقل الساقية (وسطية أو طرفية أو خشبية)، التركيز المستخدم، فتقل مدة غمر قواعد العقل كلما زاد التركيز المستخدم، كذلك نوع منظم النمو وغيرها من العوامل. ويتراوح التركيز بصفة عامة من ١٠٠ جزء فى المليون وحتى ٢٠,٠٠٠ جزء فى المليون. كذلك تتراوح فترات غمر قواعد العقل من ثوان قليلة إلى ٧٢ ساعة. ويلاحظ زراعة العقل عقب انتشالها بنصف ساعة من المحلول المنشط للتجذير. وتؤدى هذه المعاملة إلى زيادة عدد الجذور على العقلة الواحدة، هذا فضلا عن استطالة الجذور الناتجة بالاضافة إلى قصر وقت خروج الجذور على قواعد العقل المتكاثرة.

٣ـ طريقة الغمر فى محلول مركز Concentrated dip method

وفى هذه الحالة يتم غمر قاعدة العقلة فى محلول مركز من الأوكسين ذائب فى كحول إيثيل تركيزه ٥٠٪ يمكن أستعمال تركيزات مرتفعة نسبيا من الأوكسين ٠,١٪ ولكن من الأفضل أن تستعمل تركيزات أقل من ذلك خاصة وأن بعض الأوكسينات مرتفعة الثمن مثل إندول حامض البيوتريك. يتم عمل حزمة صغيرة من العقل ويتم غمر قاعدتها بطول ٢,٥سم عادة ولمدة ثانية إلى خمس ثوان فى المحاليل المركزة ثم تترك بعد الغمر ليسمح لتطاير الكحول وبذلك تتكون طبقة رقيقة من الأوكسين تغطى قاعدة العقلة. يتم بعد ذلك زراعة العقلة مباشرة فى بيئتها الطبيعية. تتميز هذه الطريقة عن السابقة بأنها تحتاج زمن قليل وتتلافى مضار وزمن غمر العقل الطويل. يمكن معاملة عقل التفاح hardwood بهذه الطريقة.

٤ـ طريقة المسحوق Dust method

فى هذه الطريقة يتم معاملة قاعدة العقل بواسطة مسحوق من مادة خاملة مثل بودرة التلك أوالطين أوالفحم الحيوانى charcoal مخلوط مع مسحوق الأوكسين. يستعمل تركيز من الأوكسين فى المسحوق يتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,١ وذلك للعقل العصيرية herbaceous cuttings ويستعمل خمسة أضعاف هذا التركيز فى

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?
user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/
/Biothesis

https://www.researchgate.net/profile/
/Salam_Ewaid

07807137614



العقل الغير عصيرية أى الخشبية hardwood cuttings. يتم خلط مسحوق الأوكسين مع مسحوق المادة الخاملة carrier بطريقتين وذلك بطحن بلورات الأوكسين إلى مسحوق فائق النعومة ثم يتم خلطه بمسحوق المادة الخاملة. وهذه الطريقة تحتاج إلى حرص كبير لضمان تجانس عملية خلط الأوكسين مع مسحوق المادة الخاملة. وفى الطريقة الثانية وهى الأكثر تفضيلا هى عبارة عن إذابة الأوكسين فى كحول ثم إذابة المادة الخاملة فى هذا الكحول وذلك بتركيزات مناسبة ثم يسمح بتطاير الكحول. يمكن إذا لزم الأمر إعادة طحن المادة الحاملة. ثم يتم غمر قاعدة العقل المراد معاملتها وذلك لمسافة حوالى ٢سم فى الماء ثم بعد ذلك يتم غمر هذا الجزء فى مسحوق الأوكسين وذلك مع دوران للعقلة فى المسحوق rolling the cutting in powder ثم يتم إزالة الزائد من المسحوق على قاعدة العقلة وذلك بعمل عملية غسيل بماء الصنبور وبإحتراس وبرقة ثم يتم زراعة العقلة مباشرة. عند زراعة العقلة فى التربة لابد من عمل حفرة فى التربة أكثر إتساعا من العقلة ثم توضع فيها العقلة ويكوم عليها تراب التربة لأن زراعة العقلة مباشرة فى التربة يمكن أن يسبب إزالة ومسح مسحوق المبيد. ومن مميزات هذه الطريقة أنها سريعة ويكون توزيع الأوكسين على العقلة متجانس كما فى الطريقة السابقة ومن عيوبها أن المادة الحاملة يمكن أن تؤثر على كفاءة الأوكسين وبذلك تؤثر على التجارب حتى فى نفس التركيز الواحد على النبات الواحد. يمكن التغلب على ذلك بطحن مسحوق المادة الحاملة جيدا. ولذلك يفضل شراء هذا المسحوق من شركات متخصصة وإتباع التعليمات الموجودة على الورقة المرفقة بدقه. ومن عيوب هذه الطريقة أيضا أنه يمكن أن تسبب زيادة المسحوق على العقلة ضرراً كبيرا لها ويعتبر ذلك عيب جوهرى لهذه الطريقة. لذلك تستخدم آلة insufflator لضمان إنتظام توزيع المسحوق. يمكن إستخدام النبات الحزازى *Sphagnum* المبلل كبيئة أو مهد صالح للزراعة وفى هذه الحالة يتم معاملة *Sphagnum* بالأوكسين وبعد تمام تشربه الأوكسين يستعمل كمهد صالح للزراعة. أحيانا يتم عمل عجينة من بودرة التلك والأوكسين فى شكل كريات صغيرة ثم تلصق كرة واحدة فى قاعدة كل عقلة وتزرع العقل مباشرة.

٥ ـ طريقة الرش **Spray technique**

يمكن أن تستعمل هذه الطريقة في رش الأوراق بمحاليل أوكسين مخففة. يمكن أيضا إستعمال هذه الطريقة فى رش النباتات العشبية قبل أخذ العقل منها. يمكن أيضا رش العقل أثناء زراعتها فى البيئة ولا تصلح هذه الطريقة فى بعض النباتات ولكنها تلاءم بعض نباتات أخرى مثل القرنفل و *Coleus*.

وفى حالة النباتات التى تحتاج عقلها إلى وقت طويل نسبيا لتكوين الجذور يضاف لمحلول الأوكسين المستعمل مستحلب emulsion اللانولين وبذلك تطول مدة بقاء الأوكسين على النبات أو العقلة.

٦ـ طريقة البلورات **Crystal metho**

ينم وضع بلورات من الأوكسين فى قلف الأشجار أو فى قاعدة الساق ويكون لها تأثير فعال على النبات ولكنها قد تكون سامة للنبات أو شديدة السمية فى بعض الحالات.

٧ـ طريقة خلة الأسنان **Tooth Pick method**

يتم غمر خلة الأسنان فى محلول الأوكسين ثم ترشق فى النبات.

ثانيا: العقل الورقية **Leaf cuttings**

يمكن أن تستعمل فى بعض النباتات عقل ورقية كما فى البيجونيا *Begonia* حيث أنه عند قطع الورقة ووضعها فى بيئة أى تربة مناسبة فإن البراعم والجذور تتكون من مناطق معينة من عروق الورقة ويتكون نتيجة لذلك نبات كامل. يمكن تنشيط عملية تكوين الجذور والبراعم بتجريح العروق الرئيسية. تتكون النباتات الصغيرة بالقرب من مكان القطع أو التجريح على العروق الرئيسية. أتضح أن غمر الأوراق فى محلول إندول حامض الخليك بتركيز ١ ,٠,٠٪ يكون ذو فاعلية كبيرة فى تنشيط تكوين الجذور والمجموع الخضرى فى العقل الورقية لنبات البيجونيا والتين المطاط *Fi-*

cus elastica . وفى حالات أخرى تتكون الجذور والبراعم فى قاعدة عنق الورقة مثل نبات البنفسج الأفريقى *Saintpaulia* .

يمكن زراعة عقل أوراق حرشفية scale leaf cuttings وذلك بمعاملتها بمركب نفثالين حامض الخليك بتركيز مناسب وحيث يتكون على هذه الأوراق برعم وجذور ويتكون نبات كامل وذلك فى نبات Easter lilies . لوحظ حدوث عفن فطرى على هذه الأوراق الحرشفية ولذلك يفضل غمس هذه الأوراق فى مخلوط من مسحوق مبيد فطرى وأوكسين.

ثالثا: العقل الجذرية Root Cuttings

بعض النباتات يمكن إكثارها بالعقل الجذرية وحيث يتكون على الجذر براعم وجذور ومنها يتكون نبات جديد. وقد أستعملت الأوكسينات فى تنشيط تكوين الجذور والبراعم فى بعض العقل الجذرية . تعامل العقل الجذرية لنبات *Taraxa-cum koksaghyz* وذلك بغمرها لمدة ستة عشر ساعة فى خمسون جزء من المليون من أوكسينات مختلفة مثل نفثالين حامض الخليك وأندول حامض البيوتريك و B-naphthoxy acetic acid وإختصاره Noxa وقد وجد أن درجة التجذير على هذه العقل تتضاعف. أستعمل هذا النبات أثناء الحرب العالمية الثانية كمصدر للمطاط. وجد نفس التأثير عند أستعمال عجينة لانولين بها إندول حامض الخليك لمعاملة العقل الجذرية لنبات *Armoracea lapathifolia* أى فجل الحصان horse-radish .

رابعا: عقل ورقية برعمية Leaf bud Cuttings

تستعمل فى هذه الحالة ورقة وبرعم أبطى وجزء صغير من الساق حيث يتم فصل جزء صغير من الساق يحمل ورقة واحدة وبرعم أبطى واحد من النبات الأم وفى حالة زراعة هذه العقله الورقية تتكون جذور وينمو البرعم ليكون ساق وهكذا يتكون نبات جديد. وفى الحقيقة يعتبر هذا النوع عقل ساقية. يمكن تنشيط تكوين الجذور فى هذه الحالة بواسطة معاملة الساق بالأوكسين فى صورة مسحوق أو محاليل مخففة.

تنجح هذه المعاملة فى بعض النباتات مثل الجهنمية *Bougainvillaea* والهبسكس *Hibiscus* وثنبرجيا *Thunbergia* والراوند *Rhododendron* يمكن إكثار الكرنب بهذه الطريقة حيث تغمر العقل فى محلول نفثالين حامض الخليك بتركيز من ٢٠ إلى ٤٠ جزء فى المليون لمدة ١٦ ساعة أو إندول حامض البيوتريك بتركيز من ٤٠ إلى ٨٠ جزء فى المليون.

يتم منع حدوث العفن الفطرى بواسطة خلط الأوكسين مع مبيد فطرى مناسب.

خامسا: الترقيد **Layering**

وجد أن معاملة البيكان بالأوكسينات أثناء الترقيد يفيد فى نجاح تكوين النبات وذلك فى حالة الترقيد الأرضى البسيط simple layering. وفيما يلى شرح لطريقة الترقيد الأرضى البسيط. فى هذه الطريقة يتم إكثار النباتات ذات الأفرع الأسطوانية المرنة القاعدية. وفيها يختار أحد الأفرع القريبة من سطح التربة ويثنى ثم يدفن هذا الجزء الذى تم ثنيه تحت سطح التربة وعلى عمق يتراوح من ١٠ ـ ٢٠ سم يبقى طرف الفرع المرقد خارجا فوق سطح التربة. وقد يحدث فى حالة الأفرع المرنة البعيدة عن سطح التربة أن يتم لها ذلك ولكن بدلا من ثنى الفرع ودفنه تحت سطح التربة يتم الدفن فى أصيص أو صندوق خشبى يمكن رفعه على حامل. ويمكن تشجيع خروج الجذور العرضية على الفرع المرقد فى منطقة الدفن وذلك بعمل مجموعة حزوز أو خدوش على العقد أسفل البراعم الموجودة فى المنطقة المدفونة من الفرع. ويمكن كذلك تثبيت الفرع المرقد على هذا الوضع على امتداد منطقة الدفن بأستخدام أسلاك على شكل حرف (V) مقلوبة توضع على أبعاد من بعضها، بحيث تبقى على الفرع المدفون ثابتا مكانه حتى يتم تجذيره. وعند التأكد من تمام تجذير الفرع المرقد (غالبا ما يتم ذلك فى نهاية فصل النمو) يفصل عن النبات الأم ثم يزرع منفصلا فى المشتل أو فى الأرض المستديمة مباشرة، وهذا هو الغالب. ويتكاثر بهذه الطريقة العنب والليمون المالح والياسمين الأبيض والزفر والبرقوق والبيكان وست الحسن وشبر فايد والأرجيريا وغيرها.

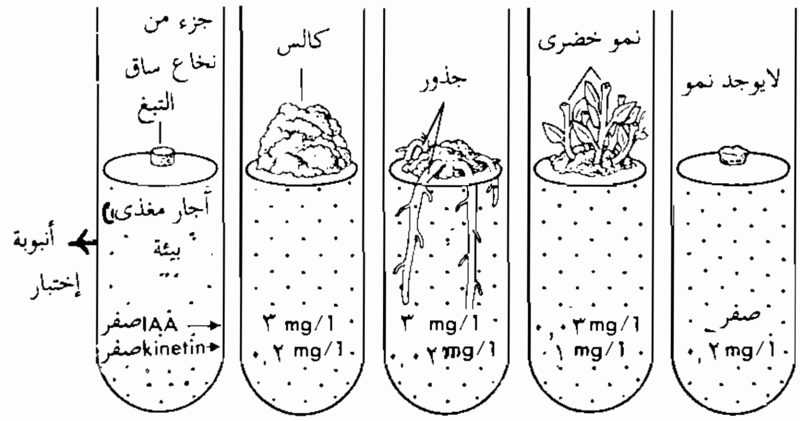
سادسا: الترقيد الهوائي **Marcotting (Air - layering)**

تستعمل الأوكسينات فى تنشيط الجذور فى النباتات الناتجة من الترقيد الهوائى marcots. وجد أن ١ ـ ٣ ٪ أندول حامض الخليك أو أندول حامض البيوتريك أو نفثالين حامض الخليك فى عجينة لانولين تنشط تكوين الجذور أثناء الترقيد الهوائى للمانجو. وجد أيضا أن ١٠ ٪ نفثالين حامض الخليك فى عجينة لانولين فعالة فى حالة الجوافة. وجد أن معاملة الأجزاء التى فيها تحليق بأندول حامض البيوتريك وذلك فى حالة الترقيد الهوائى وأن يكون تركيز الأوكسين ٠,٥ ٪ فى كحول. ثم تغطى هذه الأجزاء المحلقة المعاملة بالأوكسين بواسطة تربة تتكون من رمل وطين و *Sphagnum* والأخير يسمى peat moss. وجد أن هذه المعاملة تزيد من كفاءة التجذير فى أشجار الكاكاو. تنجح الحالة السابقة أيضا فى حالة نبات *Ficus decora*.

هـ ـ تكوين الشكل الظاهرى morphogenesis أى تكوين أعضاء النبات المختلفة مثل الساق والجذر والأوراق حيث تحدد هذه الأعضاء الشكل الظاهرى للنبات. وقد أمكن إثبات أن الأوكسينات لها دور هام فى ذلك ومن أفضل التجارب فى هذا الشأن تجربة سكوج وميللر Skoog and Miller عام ١٩٥٧. وقد أثبتا بالدليل القاطع أنه يمكن التحكم فى تكوين الجذر والساق باستعمال مركبات هرمونية معينة. وفى هذه التجربة تم وضع نسيج نخاع ساق الدخان على بيئة آجار مغذى nutrient agar (تتكون هذه البيئة من ببتون peptone ومستخلص لحم beef extract وماء وآجار agar) وقد خلطت هذه البيئة بتركيزات مختلفة من كل من إندول حامض الخليك indole acetic acid الذى يساعد على إستطالة وكبر خلايا النبات وكينيتين kinetin الذى يساعد على إنقسام خلايا النبات. وقد وجد أن هذين المركبين يتحكمان فى تكوين الجذر والساق تبعا لتركيزاتهما أى لهما دور كبير فى عملية تكوين الشكل الظاهرى للنبات morphogenesis.

فعند خلط بيئة الآجار المغذى بهذه المركبات ووضع النسيج على البيئة وفحص النسيج النباتى بعد عدة أسابيع وجد أن خلط البيئة بأندول حامض الخليك وكينتين

بنسبة ١٥ : ١ نتج عنه تكوين نسيج كالس، وبتغيير النسبة يمكن تكوين جذور فقط أو سيقان فقط، فزيادة تركيز أندول حمض الخليك يشجع تكون المجموع الجذرى وزيادة تركيز الكينيتين يشجع تكوين المجموع الخضرى (شكل ٨٣). أى أن هذين المركبين لازمين لحدوث تكوين أعضاء النبات المختلفة مثل الجذور والسيقان والأوراق أى لحدوث morphogenesis. يدل على أهمية إندول حامض الخليك فى تكوين الشكل الظاهرى لأعضاء النبات هو أن خلو البيئة المستعملة من هذا الأوكسين نتج عنها توقف نمو نسيج نخاع ساق نبات التبغ تماما وذلك بالرغم من وجود الكينيتين.



(**شكل ٨٣**) : تأثير تركيز منظمات النمو على الـ morphogenesis فى النبات.

نستنتج أيضا من هذه التجربة أن للأوكسين دور فى إنقسام الخلايا حيث أن خلو البيئة من هذا الأوكسين نتج عنه توقف نمو النسيج النباتى تماما بالرغم من وجود الكينيتين.

و ـ تكوين الكالس من قاعدة العقلة . عند أخذ عقلة من الساق فإن الأوكسين ينتقل من الجزء العلوى للعقلة إلى الجزء السفلى. وأيضا عند معاملة هذه العقلة بالأوكسين فإنه ينتقل إلى قاعدة العقلة. ولذلك يتراكم الأوكسين فى قاعدة العقلة. ولذلك بعد فترة فإن الأوكسين المتراكم فى قاعدة العقلة يسبب تكوين إنتفاخ فى قاعدة العقلة عبارة عن نسيج الكالس callus ويتكون هذا النسيج فى هذه الحالة من

خلايا برانشيمية أو خلايا رقيقه الجدر. تتكون هذه الخلايا البرانشيمية فى نسيج الكالس نتيجة لإنقسام خلايا الكمبيوم فى قاعدة العقلة وأيضا نتيجة لنشاط الخلايا المرستيمية الناتجة عن تحول خلايا بالغة إلى خلايا مرستيمية. يدل ذلك على أن أندول حامض الخليك له دور فى إنقسام الخلايا. ينشط أيضا الأوكسين خلايا الكمبيوم فى العقلة ويدفعها للأنقسام وتكوين الجذور العرضية وقد ينشط أيضا خلايا مرستيمية أخرى ناتجة من تحول الخلايا البارنشيمية إلى خلايا مرستيمية حيث يمكن أن تستعيد بعض الخلايا البارنشيمية قدرتها على الإنقسام وتصبح خلايا مرستيمية.

٣ ـ ظاهرة السيادة القيمة Apical Dominance:

وهذه الظاهرة تحدث فى النباتات ذوات الفلقتين حيث نجد أن البرعم الطرفى يكون نشيط ويمنع هذا البرعم نمو البراعم الأبطية والموجودة أسفله لمسافة ما وكلما زادت هذه المسافة كلما كان ذلك دليل على زيادة كفاءة ظاهرة السيادة القمية. وعند إزالة القمة النامية لهذا الساق أو الفرع فإن البراعم الأبطية الساكنة الموجودة أسفله تنمو فى تتابع هرمى. وقد وجد أنه عند إزالة القمة النامية ونضع مكانها مباشرة عجينة لانولين lanolin بها تركيز مناسب من IAA فإن نمو البراعم الأبطية يتوقف أيضا فى هذه الحالة (عجينة لانولين عجينة تشابه الفازلين إلا أنها غير سامة للنبات فى حين أن الفازلين عند وضعه على القمم المقطوعة يسبب تأثير ضار للنبات) (شكل ٨٤).

والتعليل للظاهرة السابقة أن البرعم الطرفى نشط ويكون كميات كبيرة من الأوكسينات تفرز وتنتقل قطبيا إلى أسفل حيث تنتقل إلى البراعم الأبطية الموجودة إلى أسفل وحيث أن هذه البراعم الأبطية تخلق أوكسينات ويدخل إليها علاوة على ذلك أوكسينات من البرعم القمى فنتيجة لذلك يزداد تركيز الأوكسينات فى هذه البراعم الأبطية عن الحد المناسب فتمنع نموها ونتيجة لذلك تحدث ظاهرة السيادة القمية.



(شكل ٨٤) : ظاهرة السيادة القمية

أ ـ فرع عادى وعدم نمو للبراعم الأبطية.

ب ـ فرع أزيلت قمته ونمو للبراعم الأبطية.

حـ ـ مكعب آجار به أوكسين وضع على القمة المقطوعة وعدم نمو للبراعم الأبطية.

وقد أمكن استعمال هذه الظاهرة اقتصاديا فى حالات كثيرة منها:

أ ـ تخزين درنات البطاطس بكفاءة عالية حيث أنه من المعروف أن درنة البطاطس هى عبارة عن ساق وعليها عيون وكل عين به برعم خضرى أو أكثر وأنه فى الظروف العادية الغير مناسبة تماما للتخزين فإن هذه البراعم تنمو وتنبت الدرنة ونتيجة لنمو هذه البراعم وتكوينها لنموات ساقية فإنها تستهلك النشا الموجود داخل درنات البطاطس وذلك مما يقلل من القيمة الاقتصادية للبطاطس حيث نجد فى نهاية مدة التخزين أن هذه البطاطس النابتة عديمة القيمة الاقتصادية تماما ولا يمكن بيعها وعادة تصاب ببكتريا العفن الطرى وتصبح الدرنات طرية عفنة ذات رائحة كريهة ونتيجة لذلك فقد أمكن رش درنات البطاطس بأوكسين إندول حامض البيوتريك أو نفثالين حامض الخليك وقد أمكن بذلك تخزين البطاطس لمدد تتفاوت من سنة إلى ٣ سنوات دون أى نمو وإنبات للبراعم وبذلك تكون القيمة التسويقية والاقتصادية للبطاطس بعد التخزين كبيرة. غمر درنات البطاطس فى محلول نفثالين حامض

الخليك غير فعال إلى حد كبير حيث إن إختراق المحلول للقشرة الفلينية لدرنة البطاطس ضعيف. وقد وجد أن معاملة الدرنات بأستر ميثيل نفثالين حامض الخليك عظيم الفاعلية methyl ester NAA (MENA) (مينا) حيث أن محلول هذا المركب متطاير ويوجد في صورة غازية وبذلك يخترق درنات البطاطس بسهولة. يمكن رش هذا المركب على الدرنات أو تعبئة الدرنات في شرائح ورقية مشبعة به.

ب ـ في كثير من نباتات الفاكهة وخاصة التفاح وحيث يزرع في المناطق الباردة جدا نجد أن النمو المبكر للبراعم الساكنة يكون له تأثير ضار على النبات حيث تكون درجة الحرارة منخفضة ويتكون الصقيع الذى يقتل النموات الخضرية الناتجة من هذه البراعم وبذلك فإنه من المفيد تأخير نمو هذه البراعم حتى يحل جو أكثر دفئا نسبيا ولا يتكون صقيع وفي هذه الحالة ترش الأشجار بنفثالين حامض الخليك أو بالـ 2,4 -D ذلك يساعد على تأخير تفتح البراعم ونموها بعد حلول فترة دفء نسبيا أو فترة أقل برودة نسبيا.

حـ ـ أنه في نباتات الفاكهة عند نقل الشتلات وذلك في حالة نباتات كثيرة مثل التفاح والكريز والبرقوق والخوخ فإنه أثناء النقل لهذه الشتلات نحتاج إلى منع نمو البراعم الساكنة حيث أن نموها أثناء النقل غير صالح للنبات المنقول ولذلك ترش هذه الشتلات قبل النقل بنفثالين حامض الخليك.

إلا أن النظرية الحديثة في حالة السيادة القمية فحواها أنه يوجد تضاد بين عمل الأوكسين من ناحية تثبيط نمو البراعم والسيتوكينينات التى تصل البراعم فإنها تضاد وتثبط عمل الأوكسينات وتنشط نمو البراعم حيث وجد أن معاملة البرعم الأبطى في منطقة السيادة القمية بواسطة أحد مركبات السيتوكينينات يسبب نمو البرعم الأبطى وكسر ظاهرة السيادة القمية. أى أنه توجد حالة من التنافس بين الأوكسين لتثبيط نمو البرعم الأبطى وبين السيتوكينين لتشجيع نمو هذا البرعم.

٤ ـ سقوط الأوراق Leaf Drop والأزهار والثمار:

من المعروف أن الورقة تظل ملتصقة بالساق حينما تكون عمليات التحول الغذائى فيها نشطة وتتكون الأوكسينات الطبيعية بتركيز كبير فى الورقة أكثر مما هو موجود فى الساق ويستمر إنسياب الأوكسينات من الورقة إلى الساق وبذلك تظل الورقة متصلة بالساق بشدة. أما فى حالات ضعف الورقة وقلة الكفاءة فى عمليات التحول الغذائى ينتج عنه قلة فى تكوين الأوكسينات وبالتالى يكون تركيزها مساوى أو أقل من تركيزها فى الساق ونتيجة لذلك يتكون عند قاعدة الورقة عند مكان اتصالها بالساق منطقة مختلفة فى تركيبها التشريحى وتعرف هذه المنطقة بمنطقة الانفصال وهى تعتبر نقطة الضعف فى مكان اتصال الورقة بالساق ونتيجة لذلك فإنه عند أى إهتزاز خفيف للورقة تسقط من الساق مباشرة. ويمكن تطبيق ذلك أيضا على الأزهار وتساقطها والثمار وتساقطها حيث يعزى ذلك فى الحالتين الأخيرتين إلى إختلاف أيضا فى تركيز الأوكسين فى هذه الأجزاء عنه فى الساق ويتكون نتيجه لذلك منطقة الأنفصال.

تتساقط جميع الأوراق فى فصل الخريف فى الأشجار والشجيرات متساقطة الأوراق كما تتساقط الأوراق المسنة فقط فى الأشجار والشجيرات مستديمة الخضره. وفى كثير من نباتات ذوات الفلقه وأيضا القرعيات فإن الأوراق .لا تسقط حيث أن الأوراق المسنة تذبل وتجف ولا تسقط بل تظل ملتصقة بالنبات.

ويمكن إستخدام هذه الظاهرة اقتصاديا وتوفير آلاف من الجنيهات لكثير من مزارعى الفاكهة برش نباتات البرتقال والتفاح بأوكسينات معينة مثل 2,4 -D أو ماشابهها وذلك بتركيزات مخففة نسبيا فإن ذلك يمنع تساقط الأوراق وتساقط الثمار قبل نضجها فتظل الشجرة محملة بجميع الثمار وجميع الأوراق حيث أنه من المعروف أنه كلما كان عدد الأوراق الحية السليمة كبير كلما كانت كفاءة التخليق للمركبات وتكوين الثمار أكبر. وعلاوة على ذلك فى النباتات السابقة فإنه فى بعض الأحيان يحدث نضج مبكر نسبيا لجزء من المحصول ويكون صاحب حدائق الفاكهة

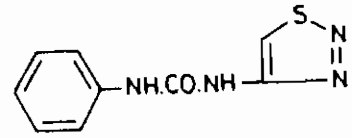
غير مستعد لجمع هذا المحصول فإنه يفضل جمعه مرة واحدة لتقليل تكاليف الجمع ويحدث ذلك فى الدول الغربية بالذات فإن رش النباتات السابقة بالأوكسينات المناسبة يساعد على عدم تساقط الثمار وجمعها فى مدة واحدة فى زمن متقارب نسبيا حيث أن ذلك يقلل تكاليف الأنتاج وبذلك يدر ربح أكبر للمزارع.

يمكن إستغلال هذه الظاهرة بطريقة عكسية فمن المعروف أنه توجد مضادات للأوكسينات antiauxins وهذه المركبات فائدتها أنها تضاد عمل الأوكسينات وتلغى تأثيرها وبالتالى فإنها عكس ما سبق عند رشها على النباتات تساعد على سقوط الأوراق، ومن هذه المضادات المركبات trans cinnamic acid وأيضا (2 و4 و 5 - T) Trichlorophenoxyacetic acid و 4 و 2 (شكل ٩٠).

وعلى سبيل المثال عامل البرتقال orange agent الذى أستخدم فى حرب فيتنام كمسقط للأوراق ماهو إلا خليط فعال من D - 4 و2 وأسترات البيوتيل للـ T - 5 و 4 و 2 أى T - 5 و4و 2 و n - butyl ester of.

ويمكن تطبيق هذه الظاهرة اقتصاديا فى حالات كثيرة وأهمها تساقط أوراق نبات القطن والجمع الآلى لشعر القطن حيث ترش النباتات بعد تمام تفتح اللوز وتكوين الشعر تماما بواسطة مضادات الأوكسينات فإن ذلك يسبب سقوط أوراق نباتات القطن تماما ويصبح نبات القطن عبارة عن يساق وفروع ولوز متفتح به شعر القطن وبذلك تسهل عملية الجمع الآلى للقطن بواسطة الآلات فتلتقط الشعر من اللوزة آليا. ولكن فى وجود الأوراق وخاصة الجافة ستلتصق بشعر القطن ويصبح القطن عديم الجدوى تماما وليست له أى قيمة اقتصادية لتداخل الأوراق مع الشعر. وتسمى هذه المركبات التى تسبب تساقط للأوراق بالـ defoliants أى المسببة لتساقط الأوراق. توجد مركبات كثيرة تحت أسماء تجارية مختلفة. لايوجد تشابه فى تركيب مضادات الأوكسينات حيث أنها تتكون من مركبات مختلفة التركيب بدرجة كبيرة.

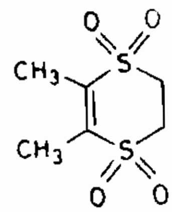
يعتبر thidiazuron منظم للنمو يستخدم بتركيز يتراوح بين ٢٠ إلى ٨٠ جرام لكل فدان لسقوط أوراق القطن defoliant ومما هو جدير بالذكر أنه في هذه الحالة فإن الأوراق المتساقطة يكون لونها أخضر عادى. يباع تجاريا باسم Dropp وتركيبه الكيماوى urea (yl - 5 - thiadiazol 3ر2 و 1) phenyl - 3.الكيماوى (شكل ٨٤ أ).



Thidiazuron

$(CH_3CH_2CH_2CH_2S)_3P$

Tributylphos phorotrithioite



Dimethipin

$(CH_3CH_2CH_2CH_2S)_3P=O$

s, s, s - Tributyl phosphorotrithioate

(شكل ٨٤أ) : التركيب الجزيئي لمركبات مسقطة للأوراق defoliants.

يعتبر tributyl phosphorotrithioate من المركبات التى تسبب سقوط الأوراق defoliant فى القطن.يحتاج الفدان إلى تركيز حوالى ٧٥ جرام.يباع تجاريا بأسم Def Defoliant . تركيبه الكيماوى S,S,S-tributyl phosphorotrithioate (شكل ٨٤أ).

يعتبر tributyl phosphorotrithioate هو الأسم العادى والكيماوى لهذا المركب (شكل ٨٤أ). وهو يسبب سقوط أوراق القطن وبعض نباتات أخرى مثل الورد والهيدرانجيا.يباع تجاريا بأسم Folex .

يعتبر dimethipin مشبب لسقوط الأوراق defoliant فى القطن وفى nursery وفى نباتات المطاط و vines يسرع من النضج ونتيجه لذلك ينخفض محتوى الرطوبه فى البذور مثل الكتان والأرز وعباد الشمس و oilseed rape. يباع تجاريا تحت أسم

Harvade. تركيبه الكيماوى (شكل ٨٤أ) -2,3-dihydro-5,b-dimethyl-1,4 di.
thiin1,1,4,4 -tetraoxide

أما فى حالة الثمار فإنه من المعروف أن نسبة من الثمار الصغيرة السن تسقط قبل تمام نموها ومثال ذلك الفول والقطن والمانجو والتفاح. ولذلك فى حالة التفاح يقوم المزارعون برش الثمار الصغيرة السن بمحلول نفثالين حامض الخليك ونتيجة لهذه المعاملة لا تسقط الثمار ويزداد المحصول. وتعليل ذلك أن كفاءة تخليق الأوكسينات فى هذه الثمار الصغيرة منخفضة ولذلك فإن زيادة تركيز الأوكسينات فى هذه الثمار يمنع سقوطها.

أما فى حالة الأزهار فإنه يحدث لها سقوط طبيعى بدرجة معينة فى بعض النباتات مثل الفول والبرقوق. ومن أفضل الأمثلة على أن سقوط الأزهار مرتبط بالأوكسينات هى حالة نبات التبغ حيث أن إزالة الأوراق تسبب سقوط الأزهار ولكن فى حالة معاملة الأزهار بأوكسين إندول حامض الخليك وذلك بالرش أو بوضع الأوكسين فى عجينة لانولين ولصقها على البرعم الزهرى فإن الأزهار لا تسقط. يوضح ذلك أهمية الأوكسينات فى منع سقوط الأزهار.

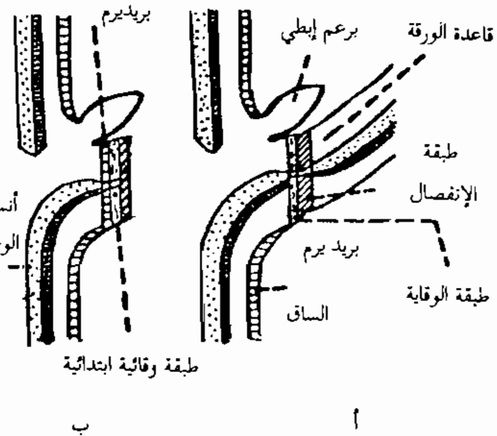
أما عن كيفية أو ميكانيكية منع الأوكسين لسقوط الأوراق فهى غير معروفة حتى الآن.

وقد وجد أن نشاط أنزيم السيليوليز والأنزيمات المحللة للمركبات البكتينية تزداد قبل سقوط الأوراق كما أن الأحماض الأمينية وبعض العناصر والأحماض النووية وبعض المركبات الأخرى تنتقل من الأوراق قبل سقوطها إلى أجزاء النبات الأخرى. وجد أن معاملةالأوراق بأندول حامض الخليك تؤجل سقوط الأوراق وفى بعض الحالات توقف نشاط أنزيم السيليوليز وتمنع إنتقال المركبات المذكورة سابقا من الأوراق .

لا تظهر أعناق الأوراق فى القطاعات العرضية بشكل كامل الإستدارة، بل تكون عادة مسطحة أو مقعرة قليلا فى السطح العلوى. يحتوى عنق الورقة عادة على نفس الأنسجة الموجودة فى سيقان نفس النباتات فالبشرة تحتوى على خلايا البشرة والثغور، وقد يوجد بها زوائد بشرة، النسيج الأساسى مكون عادة من خلايا برنشيمية وقد تحتوى على بلاستيدات خضراء، عادة توجد به خلايا كولنشيمية وإسكلرنشيمية

كأنسجة دعامية. توجد الأنسجة الوعائية بأشكال مختلفة تبعا لنوع النبات ولكنها لا تكون عادة أسطوانة وعائية بل تكون عادة منتظمة بشكل قوس أو هلال، يكون فيه الخشب متجها إلى أعلى واللحاء متجها إلى أسفل . ويكون عدد الحزم عادة من ١ إلى ٣ فى الأوراق ذات التعريق الريشى وتزيد عن ذلك فى الأوراق ذات التعريق الراحى.

ويحدث سقوط الأوراق فى الأشجار المتساقطة الأوراق نتيجة لتكوين منطقة خاصة فى قواعد أعناق الأوراق تعرف باسم منطقة الانفصال abscission zone (شكل ٨٥)، وتتكون هذه المنطقة من خلايا برنشيمية أصغر حجما من الخلايا المجاورة كما أن حزمها الوعائية لا تغلف عادة بخلايا إسكلرنشيمية ويحدث بمنطقة الإنفصال تغييرات تشريحية حيث تتكون طبقة الإنفصال separation layer وطبقة الوقاية protective layer . طبقة الإنفصال تسهل إنفصال الأوراق عن الأفرع. وطبقة الوقاية تتكون أسفل طبقة الإنفصال فى جهة الفرع لتحمى السطح المقطوع بعد سقوط الورقة من الجفاف ودخول مسببات الأمراض النباتية (شكل ٨٥).



(شكل ٨٥) : تساقط الأوراق.

أ ـ تكوين طبقة الانفصال والوقاية.

ب ـ سقوط الورقة وتكوين طبقتي وقاية إبتدائية وثانوية.

توجد ثلاث نظريات لتفسير ميكانيكية تساقط الأوراق. تقول النظرية الأولى أن التساقط يحدث نتيجة لتحلل الصفائح الوسطى لخلايا النسيج الأساسى الموجودة فى طبقة الإنفصال، ثم تتفكك الخلايا عن بعضها. وتقول النظرية الثانية أن تساقط الأوراق يحدث نتيجة لتحلل جزء أو كل الجدر الإبتدائية أو جميع خلايا النسيج الأساسى الموجودة فى طبقة الإنفصال. ويقول الرأى الثالث أن التساقط يحدث نتيجة لتكون خلايا فلينية تفصل أنسجة الورقة عن أنسجة الساق. وينتج عن تكون طبقة الإنفصال، بأى من الطرق السابقة، فصل النسيج الأساسى لعنق الورقة عن النسيج الأساسى للساق وتبقى الورقة متصلة فقط بالحزم الوعائية، لهذا فإن أى أهتزاز ضعيف للورقه ينتج عنه سقوطها.

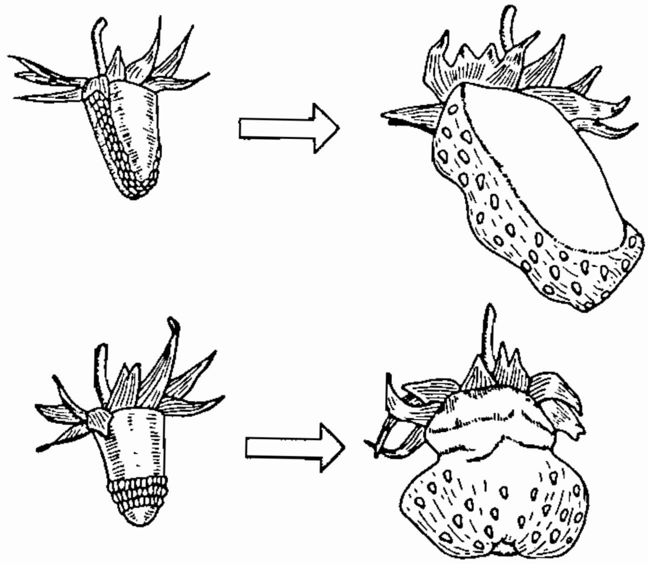
طبقة الوقاية التى تتكون أسفل طبقة الإنفصال، ناحية الساق تتكون من جزئين، طبقة وقاية إبتدائية وطبقة وقاية ثانوية، تنتج طبقة الوقاية الأبتدائية عن طريق ترسيب مواد مختلفة على جدران وفى خلايا الجزء المكشوف من الفرع وكذلك فى المسافات البينية، ويكتمل تكوين هذه الطبقة بعد سقوط الورقة عادة ومن هذه المواد المرسبة السيوبرين واللجنين وأصماغ جرحية. كما قد تتكون فى الأوعية الخشبية تيلوزات ومواد غير منفذة للماء، وبذلك يسد السطح المقطوع . تتكون بعد ذلك طبقة الوقاية الثانوية، وذلك بعد فترة قصيرة أو طويلة قد تصل إلى عام ويختلف ذلك باختلاف النبات وهى عبارة عن تكوين نسيج بريديرم والذى يكون على إتصال ببريديرم الأفرع (شكل ٨٥). وفى حالة حدوث تساقط الأوراق بطريقة تكوين خلايا فلينيةفإن طبقة الإنفصال تكون فى نفس الوقت هى طبقة الوقاية راجع باب الأثيلين للتعرف على فسيولوجيا سقوط الأوراق.

٥ ـ نمو المبيض وتكوين الثمار بكريا:

من المعروف أنه لابد أن تحدث عملية التلقيح والاخصاب فى الغالبية العظمى من النباتات لكى تتكون الثمار. تتكون الثمار نتيجة لنشاط المبيض فقط كما فى الموالح والطماطم والفول الخ وفى حالة بعض النباتات تتكون الثمار نتيجة لنشاط

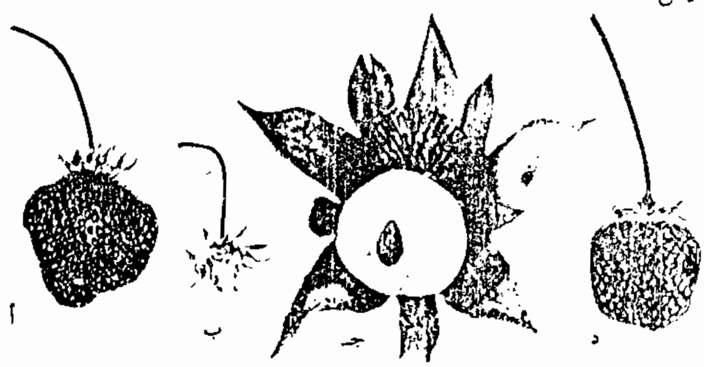
التخت كما فى الفراولة وفى حالة الثمار الكاذبة تتكون نتيجة لنشاط التخت والمبيض وذلك كما فى التفاح والكمثرى. ومن المعروف أن حبوب اللقاح تزيد من نشاط الهرمونات وخاصة الأوكسينات بداخل مبيض الزهرة ليتحول المبيض إلى الثمـــرة وأن السبب فى حدوث ذلك يمكن تلخيصه فى رأيين:(١) أن حبوب اللقاح تحتوى على كمية كبيرة من الهرمونات ومنها الأوكسينات اللازمة لتنشيط المبيض، (٢) أن حبوب اللقاح بها مركبات معينة تساعد على تنشيط تخليق الأوكسينات وغيرها من الهرمونات اللازمة لنمو المبيض وتحوله إلى الثمرة. ويعتبر الرأى الثانى هو الأكثر قبولا ويعتقد أنها عناصر أو مركبات لازمة لتنشيط الأنزيمات فى مبيض الزهرة وأن هذه الأنزيمات هى المسئولة عن تخليق الأوكسين ومن الثابت أيضا أن تركيز الأوكسينات يزداد تدريجيا أثناء تحول مبيض الزهرة إلى الثمرة ولذلك يكبر المبيض فى الحجم.

وقد وجد فى حالة الطماطم أنه عند إزالة الأسدية تماما من الزهرة ورشها بمحلول Beta naphthoxyacetic acid ـ فبالرغم من عدم وجود حبوب لقاح فإن المبيض ينمو ويكون الحجم العادى للثمرة وتكون ذات لون عادى طبيعى وذات مذاق طبيعى إلا أنها عديمة البذور. من ذلك يتضح أن عملية تحويل مبيض الزهرة إلى ثمرة هى عملية تنشيط هورمونى بحتة وذلك كما فى حالة الطماطم. وقد وجدت نفس الحالة على تخت زهرة الشليك. فالتخت يوجد عليه أكينات أى ثميرات عديدة وكل أكين عبارة عن ثمرة صغيرة أى ثميرة، وفى حالة تلقيح وأخصاب الكرابل العديدة الموجودة على التخت تتحول إلى ثمار ويحدث تضخم وتلون التخت. أما فى حالة إزالة كرابل الزهرة من على التخت لا يحدث نمو للتخت ويظل ضامر. وعند معاملة التخت بعد إزالة كرابل الزهرة بعجينة لانولين lanolin paste تحتوى على مائة جزء فى المليون من أوكسين تركيبى هو Beta - naphthoxyacetic acid فإن التخت ينمو تماما (شكل ٨٥ أ و ب) وبطريقة عادية. ومن ذلك يتضح أن عملية التلقيح والأخصاب للكرابل الموجودة على التخت لازمة لنموه وأن هذا النمو راجع إلى التنشيط الهرمونى البحت.



(شكل ٨٥أ) : تأثير الأكينات على نمو التخت فى ثمرة الشليك .

إزالة الأكينات جانبياً (الصف العلوى) وإزالة الأكينات فى الجزء السفلى (الصف السفلى) ثم نمو الثمار بعد ذلك (الصف الأيمن)



(شكل ٨٥ب) : تأثير الأكينات والأوكسينات على نمو التخت فى ثمار الشليك.

أ ـ ثمره عادية.

ب ـ ثمره أزيلت منها الأكينات قبل التلقيح.

حـ ـ ثمره أزيلت منها جميع الأكينات عدا أكين واحده قيمه.

ء ـ ثمره أزيلت منها جميع الأكينات ووضع عليها عجينه لانولين تحتوى على بيتا naphthoxyacetic acid بتركيز مائه جزء فى المليون.

ومن المعروف أن النباتات التى تتكون ثمارها بكريا مثل البرتقال صنف Valencia والليمون صنف Eureka تكون عديمة البذور وتحتوى مبايض أزهارها طبيعيا على تركيز عال من الأوكسينات ولذلك لاتحتاج هذه المبايض إلى التلقيح والأخصاب (جدول رقم ٢). ومن المعروف أن تكوين الأوكسينات يحدث تنشيطه نتيجة لأحد ثلاث حالات وهى (١) نتيجة للتلقيح يحدث تنشيط للأوكسينات (٢) نتيجة للأخصاب أى اندماج النواة الذكرية مع نواة البيضة ونتيجة لذلك تتكون كمية كبيرة من الأوكسينات و (٣) نتيجة لتكوين البذور فإنه تتكون كمية كبيرة من الأوكسينات.

(جدول ٢) : تركيز الأوكسينات فى مبيض الزهره

المحصول والصنف	تركيز الأوكسينات في مبيض الزهرة (ميكروجرام لكل كيلو جرام وزن غض)	
	صنف ذو بذور	صنف عديم البذور
البرتقال Valencia	٠,٥٨	٢,٣٩
الليمون Eureka	٠,٤٣	٠,٧٨

ومما سبق يتضح أنه لا يمكن فى جميع مبايض أنواع الأزهار تحويلها إلى ثمار بل تحدث هذه العملية بكفاءة عالية فى بعض النباتات ولا تحدث فى النباتات الأخرى حيث أن النباتات الأخيرة لابد من حدوث عمليتى التلقيح والإخصاب وأيضا تكوين البذور لتكوين الثمار. وجد فى حالات كثيرة أنه لا يمكن انتاج الثمار بكريا فى وجود الأوكسينات فقط ومثال لذلك ثمار الكريز والتفاح لابد من رش الأزهار بمخلوط من الأوكسين والجبريلين لكى تتكون الثمار بكريا. وفى حالة المانجو ترش الأزهار بمخلوط من الأوكسين والجبريلين والسيتوكينين لكى تتكون الثمار بكريا. يمكن أيضا تكوين ثمار الطماطم بكريا أيضا بنفس الكفاءة عند إستعمال الجبريللين بدلا من الأوكسين.

توجد أيضا بعض أصناف من التفاح والكمثرى تتكون ثمارها بكريا بواسطة جبريللين رقم ٦ فقط وأيضا بعض أصناف من الخوخ واللوز يلزم لها الجبريللين فقط فى هذا الصدد.

ولذلك يتضح أن نمو المبيض وتحوله إلى ثمرة لا يتحكم فيه الأوكسينات فقط بل توجد أنواع أخرى من الهورمونات النباتية تتحكم فى ذلك أيضا الجبريللينات والسيتوكينيات.

يمكن تصنيف تكوين الثمار إلى نوعين وهما إثمار بكرى خضرى وأثمار بكرى تنشيطى. وفى حالة الأثمار البكرى الخضرى vegetative parthenocarpy ينمو المبيض ويتحول إلى الثمرة دون تلقيح إطلاقا مثل بعض أصناف البرتقال عديم البذور أبو سره وبعض أصناف الخيار والموز والجوافة النباتى واليوسفى صنف كليمنتين . وفى حالة الأثمار البكرى التنشيطى stimulative parthenocarpy ينمو المبيض ويتحول إلى الثمرة فى وجود عملية التلقيح فقط وعدم وجود عملية الأخصاب مثل بعض أصناف العنب و بعض أصناف الكمثرى. يمكن فى هذه الحالة أن يكون التلقيح بحبوب لقاح نفس صنف النبات وفى بعض الحالات يمكن أن يكون التلقيح بحبوب لقاح غريبة عن النبات ومثال ذلك أنه أمكن الحصول على عناقيد عنب عند تلقيح أزهارها بحبوب لقاح نبات غريب عن العنب *(Ampelopsis hede-racea)* Virginia creeper . ولذلك قد سمى هذا النوع بالتنشيطى حيث أن حبوب اللقاح وقد تكون غريبة تسبب تنشيط المبيض وتحويله إلى ثمرة. وقد وجد الأكثر من ذلك فى هذه الحالة حيث أن المستخلص المائى لحبوب اللقاح يسبب تنشيط المبيض وتحويله إلى ثمرة فى نبات الأوركيد وتعتبر هذه الحالة إثمار بكرى تنشيطى أيضا. كما وجدت أيضا نفس الحالة فى الخيار حيث أن مستخلص حبوب لقاح الخيار سبب تنشيط مبيض زهرة الخيار وتحويلها إلى ثمرة. وجد أيضا فى حالة الأوركيد أن محلول حبوب اللقاح الميتة للنبات سببت تنشيط مبيض الزهرة وتحويله إلى ثمرة وقد يكون التنشيط نتيجه لأحتكاك الحشرات بالثمره أو النوره كما فى الجميز.

يمكن أيضا تصنيف الأثمار البكرى إلى نوعين وهما طبيعى ومكتسب ففى حالة الإثمار البكرى الطبيعى natural يتحول المبيض إلى ثمرة طبيعيا دون أى معاملة خارجية مثال البرتقال Valencia وأبوسره والموز وبعض أصناف الكاكى اليابانى وبعض أصناف الجريب فروت والجوافه البناتى ويوسفى كلمنتين والتين وفى حالة الأثمار البكرى المكتسب أى المستحدث induced يكون تحول المبيض إلى الثمرة نتيجة لمعاملة الأزهار بأحد منظمات النمو أو أكثر ومثال ذلك رش التفاح بالجبريللين لكى ينتج ثمار تفاح بناتى أو رش ثمار الطماطم بمركب naphthoxyacetic acid لتكوين ثمار طماطم بدون بذور.

توجد حالة أخرى وسطية بين الأثمار البكرى وبين الأثمار العادى. أن الأساس فى تسمية الأثمار البكرى هو تكوين ثمار بدون بذور ولذلك فإنه جميع حالات الأثمار البكرى السابق شرحها تتميز بأن الثمار عديمة البذور وأما عن الأثمار العادى فهو ينتج عن عمليتى التلقيح والأخصاب والنتيجة النهائية لهاتين العمليتين هو تكوين بذور فى الثمار. أى أن الصفة الأساسية فى تمييز الأثمار البكرى عن الأثمار العادى هو عدم وجود البذور أو وجودها فى الثمرة. أما فى هذه الحالة الوسطية فإن عمليتى التلقيح والأخصاب يحدثان فى الزهرة والمفروض نتيجة لذلك تكون بذور ولكى لا تتكون البذور حيث تنمو البويضة المخصبة لفترة محدودة جدا ولا ينتج عنها البذرة ويمكن أن تسمى هذه الحالة عقم فى تكوين البذور أى عقم الجنين em-bryo abortion . ولذلك فإن الثمرة الناتجة خالية من البذور بالرغم من وجود إخصاب ولذلك فإنها فى ظاهرها أنها ثمرة بكرية. ومثال ذلك بعض أصناف العنب عديمة البذور seedless حيث يحدث لها تلقيح وأخصاب ثم يتكون جنين لاينمو أى يلى التلقيح والأخصاب عقم الجنين. وفى هذه الحالة فإن التلقيح والأخصاب لازم لتكوين الثمار أى لازم لتنشيط الهورمونات الخاصة بتحويل المبيض إلى الثمرة وتسمى هذه الحالة stenospermocarpy. ومثال ذلك العنب البناتى وعنب بناتى تومسون seedless Thompson . يعتبر علم البساتين العنب البناتى من هذا النوع.

أما عن علاقة الأوكسينات والهورمونات النباتية الأخرى بكبر حجم المبيض فإنه يلزم شرح تفصيلي لذلك . عند تكوين المبيض أثناء تكوين البرعم الزهرى فإن خلايا المبيض تنقسم بسرعة حتى موعد تفتح الأزهار أو قبل موعد تفتح الأزهار anthesis بفترة وجيزة. بعد ذلك تصبح زيادة حجم المبيض ناتجة عن كبر حجم الخلايا أساسيا وبدرجة أقل لإنقسام الخلايا.

يتوقف إنقسام الخلايا تماما فى المبيض عند تفتح الأزهار ويصبح كبر حجم المبيض ليتحول إلى الثمرة راجع كلية إلى كبر حجم الخلايا ومثال ذلك ثمار الطماطم. وعلى العكس من ذلك حيث تستمر إنقسام خلايا المبيض بعد التلقيح لفترة ومثال ذلك ثمار التفاح. يمكن أن تزداد خلايا بعض الثمار فى الحجم بدرجة كبيرة حيث قد يصل طولها ٠,٦ مم أو يزيد كما فى خلايا ثمار البطيخ حيث يمكن رؤية هذه الخلايا بالعين المجردة يكون السبب فى ذلك هو وجود الأوكسينات مع بعض الهورمونات الأخرى مثل الجبريللين والسيتوكينينات.

عند حدوث التلقيح يستمر المبيض فى النمو وفى غياب التلقيح تتكون منطقة إنفصال فى قاعدة عنق الزهرة وتسقط. يعقب التلقيح ذبول البتلات والأسدية وسقوطها وزيادة كبيرة فى سرعة نمو المبيض والبويضات وبداية تكوين الثمرة وتسمى هذه المرحلة fruit set أى مرحلة عقد الثمار. يتضح أن الفترة بين التلقيح والأخصاب كافية للتنشيط المبدئى للمبيض لكى ينمو ويكون الثمرة مستقبلا فى كثير من الحالات. تتكون بعد ذلك البذور فى الثمرة وقد وجدت علاقة مؤكدة بين عدد البذور فى الثمرة وحجمها النهائى فى كثير من الأحوال. حيث أن العدد المتكامل للبذور داخل الثمرة يسبب تكوين ثمرة مثالية الحجم والعكس صحيح حيث أن قلة عدد البذور فى الثمرة يقلل من حجمها ومثال ذلك العنب والتفاح والكمثرى والطماطم والشليك. ومما يثبت ذلك أن تركيز الأوكسين فى البذور أثناء تكوينها يكون مرتفع ويقل تركيزه فى المشيمة ويصبح أقل ما يمكن فى الجدار الثمرى فى كثير من النباتات مثل الخوخ.

وجد فى حاله أزهار التبغ أن التلقيح لازم لتكوين الثمار وأنه فى عدم وجود حبوب اللقاح لا تتكون ثمار كما وجد أن وجود أنبوبه اللقاح أثناء أختراقها القلم تسبب زياده فى تركيز أوكسينات القلم.

التلقيح في التين:

يعتبر التين Smyrna وأيضا Calymyrna (الأخير يزرع فى كاليفورنيا) والتين الأزميرلى وعدد من أنواع التين كالسلطانى والفيومى هى سلالات لنبات التين البرى الوحشى *Ficus carica*، الذى لا يزال ينمو بريا ببعض مناطق البحر الأبيض المتوسط وهو من النباتات التى كانت تزرع فى عهد قدماء المصريين وما زالت نقوشه موجودة على جدران معابدهم.

ثمرة التين مركبة كاذبة تتكون نتيجة نمو النورة المخروطية الشكل التى تحوى بداخلها الأزهار المذكرة والمؤنثة، ويتصل تجويف النورة بالخارج عن طريق فتحة ضيقة توجد فى أعلى النورة. وتوجد فى نورة التين البرى الأزهار المذكرة حول فتحة النورة أما الأزهار المؤنثة فتبطن جدار النورة من الداخل . وتتكون الزهرة المؤنثة من مبيض له قلم طويل ينتهى بميسم واضح. أما الزهرة المذكرة فتتركب من سداة واحدة أو أثنتان.

نورة التين الوحشى مبكرة متاع أى أن مياسم الأزهار تنضج وتصبح مستعدة لاستقبال حبوب اللقاح قبل أن تنضج متوك الأزهار المذكرة الموجودة فى نفس النورة. لذلك لا تتم عملية التلقيح، ولابد من التلقيح الخلطى الحشرى لكى تتكون البذور ويتم نضج الثمار.

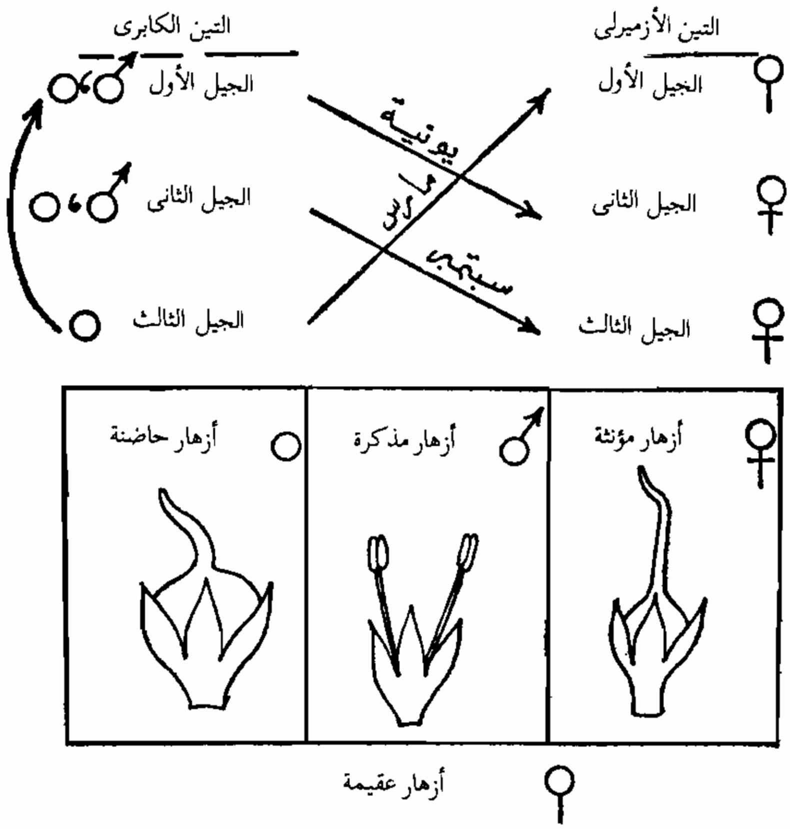
تقوم بعملية التلقيح حشرة خاصة اسمها *Blastophaga*، نشأ بينها وبين نبات التين علاقة لعلها من أعجب العلاقات المعروفة بين النبات والحيوان، وهى علاقة أساسها المنفعة المتبادلة فيهىء النبات للحشرة المكان الدافىء الأمين لوضع البيض وفقسه وتغذيته وتطوره أما الحشرة فتقوم بعملية التلقيح اللازمة، ولإغراء الحشرة وتشجيعها على زيارة النورة تحورت بعض أزهارها المؤنثة فأصبحت عقيمة لها أقلام

قصيرة مثقوبة تسمى بالأزهار الحاضنة gall flowers، وفى هذه الأزهار تضع الحشرة بيضها حيث يتم فقسه وتغذيته وتطوره إلى حشرات كاملة. وفى النورة يتم التزاوج بين الحشرات وفى ذلك نهاية الذكور، أما الإناث المخصبة فتخرج من النورة باحثة عن نورة أخرى تضع فيها بيضها، ويحتك جسمها أثناء خروجها من النورة بالأزهار المذكرة فتتعفر بحبوب اللقاح الذى تحمله إلى مياسم الأزهار المؤنثة أثناء بحثها عن الأزهار الحاضنة وبذلك تتم عملية التلقيح اللازمة لنمو البذور ونضج الثمار.

يتكون على نبات التين الوحشى ثلاثة أجيال من النورات فى العام الواحد، تحوى نورات الجيل الأول أزهارا مذكرة وأخرى حاضنة، أما نورات الجيل الثانى فتحوى أزهارا مؤنثة فقط ولذلك فأن نورات هذا الجيل هى التى تكون المحصول الرئيسى للتين. أما الجيل الثالث فتحوى نوراته أزهارا حاضنة فقط وفيها تقضى الحشرة فصل الشتاء (شكل ٨٦). كان من نتيجة عمليات التهجين والانتخاب الطبيعى فى نبات التين البرى أن نشأت منه عدة سلالات يمكن وضعها فى نوعين : النوع الأول وأسمه *Ficus carica caprifica*، تحوى نوراته أزهارا مذكرة وأخرى حاضنة. وثمار هذا النوع لا تصلح للأكل بل تعطى غذاءا للماشية، أما النوع الثانى *Ficus carica domestica*، فتحوى نوراته أزهارا مؤنثة فقط، وهذا هو الذى تؤكل ثماره، ومنه التين الأزميرلى والسلطانى، فمن ذلك نرى أنه نشأ من نبات التين البزى نباتان أولهما لا يحمل إلا أزهارا مذكرة هو الكابرى وثانيهما لا يحمل إلا أزهارا مؤنثة هو الدومستكى.

أما التين السلطانى الذى يزرع بمصر فتحوى نوراته أزهارا عقيمة لا شك أنها نتيجة عمليات التكاثر الخضرى دون الزهرى، ولا تحتاج لنضج ثماره عملية التلقيح فهى ثمار بكرية خالية من البذور رطبة لا تصلح للتجفيف، ومن ثم كان موسم التين السلطانى قصيرا لا يتعدى الثلاثة أشهر. أما التين الأزميرلى فتحوى نوراته أزهارا مؤنثة تنضج نتيجة التلقيح، وتمتاز ثماره باحتوائها على البذور ومن ثم قابليتها للتجفيف والتصدير، ولذلك كان لزاما لنجاح زراعة التين الأزميرلى من أن تزرع أشجاره

متزاحمة مع أشجار التين الكابرى، أو تعلق أغصانه المزهرة على أشجار الأزميرلى حتى إذا ما خرجت الحشرة المعفرة من نورات الكابرى تدخل نورات الأزميرلى على أنها الكابرى، إذ أنها لحسن الحظ لا تميز بين النورتين، وبذلك تتم عملية تلقيح الأزميرلى وتسمى هذه العملية caprification.



(شكل ٨٦) : طريقة التلقيح فى التين الأزميرلى والعلاقة بين الأجيال الثلاثة والحشرة الملقحة .

يزرع فى كاليفورنيا فى الولايات المتحدة الأمريكية أنواع من التين بعضها ينضج ويكون ثمار ناضجة بكريا دون تلقيح وهى فى ذلك تشابه التين السلطانى والفيومى، وبعضها لا ينضج ولا يكون ثمار ناضجة إلا فى وجود حشره بلا ستوفاجا *Blas-tophaga psenes* وهى عبارة عن التين كاليميرنا Calymyrna fig . ينطبق على هذا التين الأخير تماما ما سبق شرحه على التين الأزميرلى من حيث أنواع النورات وأنواع النبات وطريقة التلقيح ونضج الثمار أى أنه لابد من زراعة تين برى لكى تحدث عملية التلقيح بواسطة الحشرات من الأزهار المذكرة للتين البرى إلى الأزهار المؤنثة للتين كاليميرنا ولكن وجود التين البرى wild fig بجانب التين العادى يأخذ مساحة من الحقل كما أن التلقيح بالحشرات قد يسبب تلقيح زائد over - pollination مما يسبب تشقق الثمار وتصبح قابلة للأصابة بأمراض عفن الثمار والتى تتسبب عن فطريات منها الفيوزاريوم *Fusarium*. ولذلك فإن إستعمال منظمات النمو بدلا من التين البرى يكون أفضل لنضج الثمار وذلك بالإضافة إلى أنه يسبب التبكير فى نضج الثمار. وجد أن أستعمال PCPA أو 5-T و 4 و 2 يسبب تكوين الثمار بكريا دون الحاجة إلى تلقيح ولذلك يمكن الأستغناء عن زراعة التين البرى تماما. يمكن أيضاً أستعمال إندول حامض البيوتريك وجد أن المعاملة بالأوكسينات تسبب صلابة جزئية أو كلية للجدار الداخلى endocarp للثميرات وتتوقف درجة الصلابة hardening (sclerification)على نوع الأوكسين المستعمل ففى حالة إندول حامض البيوتريك لا يتكون الجدار الداخلى للثميرات وفى حالة المركب CPA - 4 يتكون الجدار الداخلى ويتصلب جزئياً وفى حالة الأوكسين الضعيف جدا وهو benzthiazole - 2 - oxyacetic acid فإن الجدار الداخلى يتصلب كلية.

تشبه العلاقة بين التين وهذه الحشرة العلاقة بين الجميز وحشرة أخرى شبيهة أسمها *Cycophaga*، فثمرة الجميز لاتنضج إلا إذا وضعت الحشرة فيها بيضها، على أن يحال بين البيض وفقسه بعملية التختين المعروفة، وهى عبارة عن عمل ثغرة وذلك بواسطة سكين خاص فى جدار الثمرة لخروج الحشرات، يسبب ذلك جفاف الثمار وتصبح غير ملائمة لمعيشة اليرقات والحشرات. وفى هذه الحالة تنضج الثمرة

وتصبح صالحة للأكل. ليس المقصود بنضج الثمرة هنا تكوين البذور كما هو الحال فى التين الأزميرلى، ولكن المقصود هو نمو جدار الثمرة وتحولها إلى ثمرة صالحة للأكل، والثمرة غير المختنة غير مستساغة مليئة بيرقات الحشرة. يوجد حالياً ثمار جميز متوسطة الطعم والحجم وتنتج دون تختين وتشابه بذلك التين السلطانى.

٦ ـ خاصية الاختصاص فى قتل النباتات selectivity وعلاقتها بمبيدات الحشائش:

يعتبر من أوائل المركبات التى اكتشفت كمبيد الحشائش وكان لها خاصية اختيارية فى قتل النباتات دون الأخرى هو حامض الكبريتيك حيث وجد أنه لا يؤثر على النباتات النجيلية ولكنه يسبب موت للنباتات ذات الاوراق العريضة ولكن لا يستعمل هذا الحامض نتيجة لتأثيره الضار على النبات والانسان والحيوان. لا يعتبر حامض الكبريتيك بالطبع من الأوكسينات.

وفى أواخر الثلاثينات أهتم العلماء بالبحث عن مركبات لها خاصية الأختيار فى تنظيم نمو نباتات دون أخرى. أجريت البحوث فى سرية تامه أثناء الحرب العالمية الثانية حيث أن العلماء كانوا فى احتياج لانتاج منظمات للنمو نباتية لها أختيارية فى السمية والقتل للنباتات، ويعتقد أن ذلك بهدف أستعمال هذه المركبات فى الحرب الكيماوية، وقد أمكن بالفعل انتاج المركبين و هما مركب MCPA ومركب 2,4 - D وهى مركبات chlorinated phenoxyacetic acid بعد انتهاء الحرب أمكن استعمال 2,4 -D على نطاق تجارى كمبيد للحشائش حيث أنه له اختيارية فى القتل حيث أنه يقتل النباتات ذات الفلقتين أى ذوات الأوراق العريضة ولا يقتل النباتات ذوات الفلقة وهو يمكن أن يستعمل كمبيد حشائش فى حقول ذوات الفلقة. وبالرغم من أن 2,4 -D مركب مبيد حشائش الا أنه تنطبق عليه القاعدة الهامة للأوكسينات حيث أنه عند استعماله بتركيزات قليلة يفيد بعض العمليات الحيوية للنبات أما فى تركيزات عالية نسبياً يسبب موت وقتل للنباتات. ومما سبق يتضح أنه فى بعض المعاملات الزراعية المطلوبة فيستعمل محلول مخفف من 2,4 - D بكفاءة

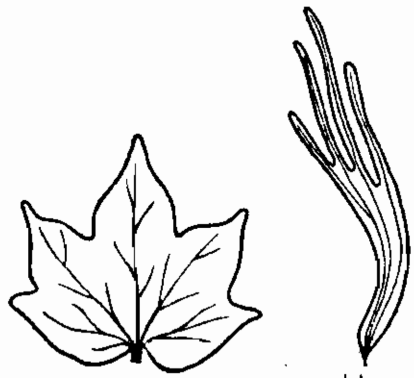
عالية وبالرغم من أن اكتشاف D - 2, 4 منذ حوالى ٥٠ سنة وأنه يعتبر أول مركب فعال أوكسين أقتصادى يستعمل كمبيد للحشائش اختيارى السمية فأنه حتى الآن غير معروف بالضبط كيف يقتل النبات، ولكن من المعروف أن - 2,4 (D- 2,4) dichlorophenoxyacetic acid يؤثر تأثير ضار على تخليق البروتينات مثل بروتينات الانزيمات والبروتينات الموجودة فى الغشاء البلازمى والتى تقوم بعملية النقل النشط لنقل الإيدروجين من داخل الخلية إلى الجدار الخلوى وأيضاً يؤثر على تخليق الأحماض النووية، ولذلك فأنه يؤثر على نفاذية الخلايا وأمتصاص العناصر. كما يؤثر على التمثيل الضوئى والنتح.

ومن المعروف أن تأثير D- 2,4 يستمر لمدة أكبر من تأثير أندول حامض الخليك حيث أنه غير قابل لأن يتحلل بأنزيم IAA oxidase كما أنه من الصعب وغير كفء فى دخوله فى تفاعلات جانبية تمنع تأثيره كما هو الحال فى IAA حيث أنه لا يكون glycosides أو ما يشابهها بسهولة، ولذلك فأن D - 2,4 يستمر لمدة أطول فعال داخل النبات وذلك بالمقارنه بمركبات IAA حيث أن الأخيرة يحدث فيها التغيرات السابق ذكرها. يزداد تركيز هذا المركب تدريجياً فى أنسجة النبات حيث لا يمكن هدمه كما سبق ذكره وهكذا حتى يصل إلى التركيز السام فتفقد الخلايا قدرتها على القيام بوظائفها الحيوية ويحدث لها إختلال وفى النهاية تموت.

يؤثر هذا المركب على نباتات ذات الفلقتين تأثير ضار ويسبب أعراض مرضية وتشويه للنبات. وتتشابه هذه الاعراض بين النباتات المختلفة وفيما يلى شرح لهذه الأعراض فى نبات القطن.

ينتج عن تعريض أوراق نباتات القطن أو جذوره السليمة لكميات ضئيلة من مركب D - 2,4 أو أحد مشتقاته المستعملة فى مقاومة حشائش نباتات ذات الفلقتين، شذوذ كبير فى نمو النباتات، فيؤدى تعريض أوراق القطن لرذاذ من مركب ٢و٤ ـ د إلى ظهور أعراض مرضية سريعة، وهى إنحناء الأوراق إلى أسفل نتيجة لنمو أنسجة السطح العلوى لأعناق الأوراق أكثر من أنسجة السطح السفلى epinasty

مع تلون الأوراق بلون أحمر. أما النموات الحديثة فيحدث لها تحورات يتوقف مداها على التركيز المستعمل، وعموما يصغر حجم الأوراق ويزداد تعريقها وضوحاً، وينتج عن ذلك زيادة نمو الأسطوانة الوعائية بالنسبة لباقى أنسجة الورقة (شكل ٨٧، و ٨٨) كما تتقارب وتضيق وتتعمق تفصيصات أنصال الأوراق ويصفر لونها.



(شكل ٨٧) : تأثير مركب D- 4 و 2 على أوراق القطن.

(رسم توضيحى)

تشبه تحورات القنابات الزهرية تحورات الأوراق وتستديم مع الثمرة، أما الأزهار فتستطيل وتضيق. تتلون الثمار بلون أصفر وأحياناً تجف وتموت وهى على أفرعها، ويقل النمو العام للنبات. إذا زادت نسبة المبيد تموت القمم النامية أو يقف نموها فتتفرع النباتات تفرعا شاذا، وكثيرا ما تنمو البراعم الجانبية بعد ذلك منتجة نموات جديدة سليمة خالية من أعراض الاصابة. تظهر أعراض المرض أيضاً على الجذور فتظهر عقد كثيرة نتيجة لتكوين نسيج كالس callus وذلك فى منطقة الانتقال بين الجذور والساق.



(شكل ٨٨) : تأثير D- 4 و 2 على أوراق القطن

على اليمين ورقة سليمة وبقيه الأوراق مختلفة في درجة تأثرها (صورة)

يقل محصول نباتات القطن كثيرا بتعرضها لمركب ٢و٤ ـ د، ويكون القطن ذو تيلة رديئة، كما وجد أن البذور الناتجة من نباتات تأثرت بهذا المركب تكون فى مستوى أقل من بذور محصول سليم من ناحية نسبة أنباتها وسرعته. كما أن النباتات الناتجة من تقاوى محصول مصاب، كثيرا ما تظهر أعراض الاصابة خاصة على أوراقها الخضرية الأولى.

تظهر أعراض الاصابة نتيجة لاستعمال آلات رش سبق أستخدامها فى مقاومة الحشائش بتلك المركبات، وفى بعض الأحيان ظهرت أعراض المبيد على نباتات قطن تبعد حوالى ثلاثين كيلو مترا عن أرض مرشوشة بالمبيد نتيجة لإنتقال المبيد بالرياح.

يعتبر هذا التأثير عام على نباتات ذات الفلقتين فى كثير من أعراضه ولا يعتبر خاص بالقطن فقط.

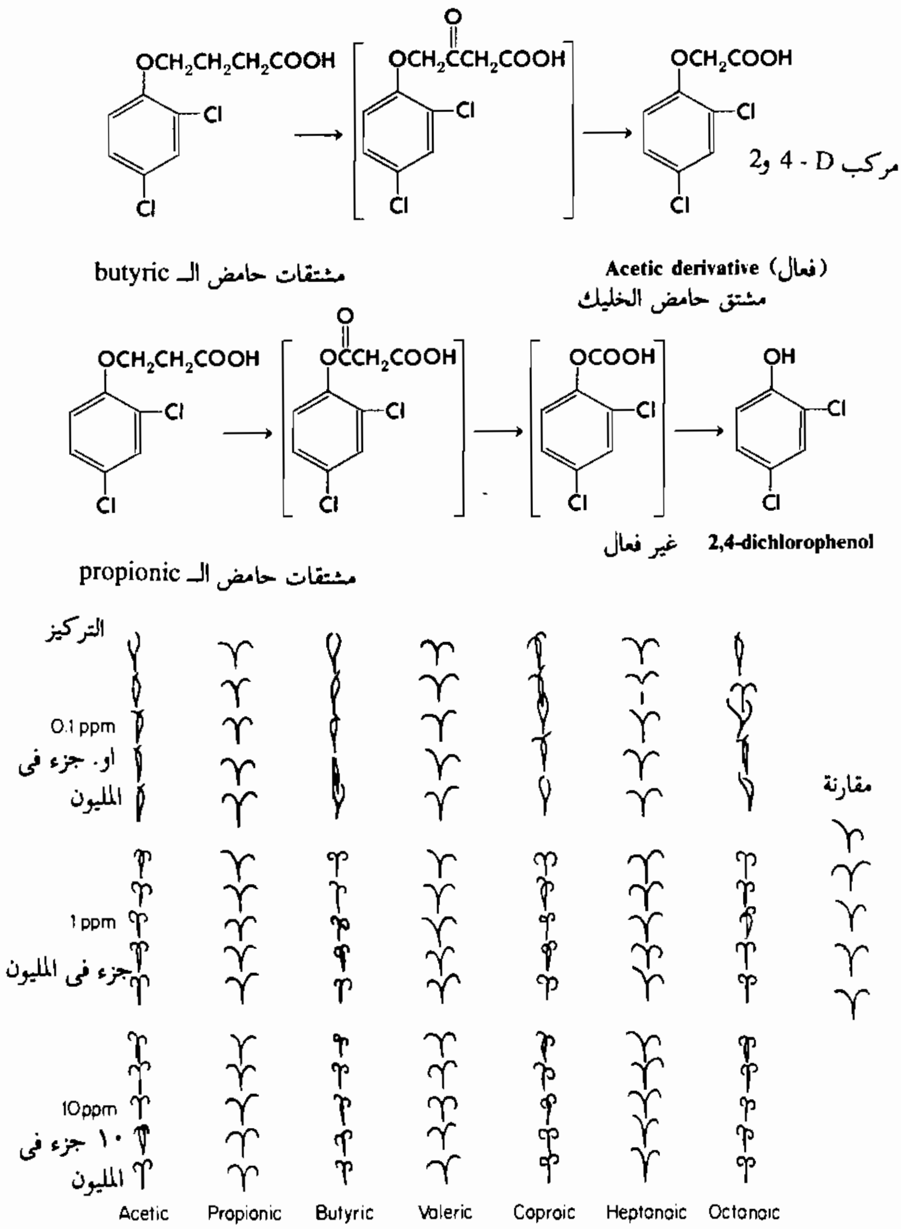
ومثال آخر للمركبات الاوكسينية التى تستعمل كمبيدات حشائش ولها خاصية اختيارية هو المركب 2,4 - Dichlorophenoxybutyric acid (2,4 - DB) الغير سام حيث أن هذا المركب ترجع فاعليته إلى أنه يتحول إلى مركب 2,4 -D السام حيث تحدث هذه العملية تبعا للنظرية المشهورة والتى درست بالتفصيل فى الكيمياء الحيوية وهى الطريقة الرئيسية لهدم الاحماض الدهنية. يحدث قصر فى طول الحامض الدهنى وأن يكون النقص فى جزيىء به ٢ ذرة كربون وهذه الطريقة تعرف باسم Beta - oxidation فقد وجد أن جميع نباتات ذات الفلقتين تقوم بعمل هذا التفاعل وتحويل مشتق مركب البيوتريك إلى مشتق مركب حامض الخليك عدا نباتات عائلة واحدة فقط وهى العائلة البقولية حيث أن نباتات هذه العائلة غير قادرة على هدم هذا المبيد وتحويله إلى مركب زائد السمية وهو 2,4 - D ولذلك فأن النباتات البقولية لا تتأثر بهذا المبيد فى حين أن النباتات الأخرى تتأثر بهذا المبيد ولذلك فأنه مبيد ناجح ويستعمل بكفاءة عالية فى حقول نباتات العائلة البقولية (شكل٨٩) .لذلك فأن هذا المبيد مناسب للنباتات البقولية لكى يقتل الحشائش الموجودة بها. وفى حالة تحطيم جزيىء حامض البروبيونيك أى تقصير سلسلة الحامض تبعاً لنظرية B- oxidation فإن الناتج يكون مركب غير فعال فى مقاومة

الحشائش وهو 2,4 - dichlorophenol ولذلك فإن الأحماض الدهنية ذات العدد الزوجى من الكربون تتحلل فى النهاية تبعاً للنظرية السابقة على خطوات إلى D - 4 و 2 أما الأحماض الدهنية ذات العدد الفردى من الكربون تتحلل فى النهاية تبعاً للنظرية السابقة إلى 2,4 - dichlorophenol. وقد أمكن إثبات ذلك بإستخدام طريقة إنحناء ساق البسلة المشقوقة (شكل ٨٩).

ولذلك فإن أحماض octanoic,caproic,butyric فعالة حيث أنها زوجية ٨,٦,٤ فى عدد ذرات الكربون أما أحماض heptanoic , valeric , propionic فهى غير فعالة حيث أنها فردية ٧,٥,٣ فى عدد ذرات الكربون، فى حالة المركبات الفعالة فإن شقى الساق ينحنيان للداخل ويتصالبان ويلتفان crossed and coiled والعكس صحيح فى حالة المركبات غير الفعالة حيث ينحنى الشقان للخارج.

يستخدم المبيد السابق فى حقول النجيليات المحمل عليها محصول علف بقولى حيث يتم رش المبيد السابق فى هذه الحقول ليقاوم الحشائش وبعد حصاد المحصول النجيلى يبقى محصول العلف البقولى الخالى من الحشائش والذى يستخدم فى تغذية الحيوانات. يتضح أن تفسير ظاهرة الأختصاص فى سمية مبيد الحشائش السابقة أمكن تفسيرها علمياً بطريقة واضحة بعد أن أمكن معرفة طريقة عمل أو فاعلية المبيد mode of action. ولكن لازالت طريقة عمل المبيد D - 2,4 مجهولة حتى الإن وبالتالى لا يوجد تفسير علمى واضح لتفسير ظاهرة الأختصاص فى السمية فى هذه الحاله ويوجد فى ذلك أراء كثيرة غير مدعمه بالأدلة القاطعة بالمقارنه بالمبيد السابق.

يوجد مبيد آخر وهو MCPA وتركيبه methylchlorophenoxyacetic acid ويشابه فى تأثيره مركب D - 2,4 ويختلف عنه فى تركيبه إختلاف واحد فقط حيث تستبدل ذرة الكلور الموجودة على ذرة الكربون رقم ٢ فى حلقة الفينول بمجموعة ميثيل. يستخدم هذا المبيد فى حقول الزمير أى الشوفان حيث أن هذا النبات له حساسية لمركب D - 2,4 ويسبب ضرر له. توجد بعض المحاصيل حساسة لمركب D - 2,4 ويسبب لها أضرار وأعراض مرضية ومنها الزمير فيستعمل هذا المركب فى هذه الحالات بدلا من مركب D - 2,4 حيث أنه أقل ضرر.



(**شكل ٨٩**) : مشتقات حامض البيوتريك والبروبيونيك وفعاليتها بأستعمال أختبار الساق المشقوقه للبسلة.

يوجد مبيد حشائش آخر وهو (2,4,5-T) 5-trichlorophenoxyacetic acid و 4 و 2 ويستعمل أيضاً كمنظم للنمو فى النباتات الخشبية والأشجار woody-plant control-ler وقد أستعمل بكثرة كمضاد للأوكسين ويسبب بذلك سقوط الأوراق defoli-ant . وقد أستعمل بكثرة أثناء حرب فيتنام فى سقوط أوراق الأشجار فى الغابات وفى أشجار مستنقعات قبور الأنسان mangrove swamps فى الغابات والمستنقعات الفيتنامية . يعتبر هذا المركب غير ضار على صحة الأنسان والحيوان ولكن وجد أن العينات التجارية من هذا المركب تسبب أعراض مرضية وتشوهات فى أجنة فيران التجارب قبل الولادة تسمى هذه التأثيرات الضارة بإسم teratogenic effects . وجد أخيراً أن سبب ذلك هو وجود مركب ملوث موجود بتركيزات أثرية أو ضئيله جدا مع 2,4,5-T وهو مركب 2,3,7,8- tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) وينتج كمركب ثانوى by product غير مرغوب فيه أثناء تصنيع 2,4,5-T (شكل ٩٠) . وجد أن تركيز هذا المركب السام فى 2,4,5-T هو ٢٥ جزء فى المليون ولذلك قد تم تنقية منظم النمو من هذا المركب السام وأصبح تركيزه ١,٠ جزء فى المليون فقط وأن هذا التركيز يعتبر غير ضار للإنسان والحيوان ولذلك أستعمل فى خف أوراق أشجار الغابات حتى القريبة من المناطق الآهلة بالسكان. ولكن بعد ذلك وحديثا نسبيا وللأسف وفى أواخر السبعينيات أتضح أن تركيز أثرى من هذا المركب السام وهو ٥ خمسة أجزاء فى التريليون trillion فى الغذاء يسبب حدوث السرطان بجميع أنواعه. وجد أيضا أن كميات ضئيلة من هذا المركب تسبب حدوث إنقسام غير مباشر غير طبيعى لخلايا النبات وينتج عن ذلك تشوية فى خلايا النبات والأنسجة ويعتبر ذلك دليل على أن هذا المركب مسبب لحدوث الطفرات أيضا mutagenic وهى صفة خطيرة غير مرغوبة لأى مركب كيماوى وذلك بالإضافة إلى أنه مسبب للسرطان وأيضا teratogenic. أخيرا ثبت وجود تركيزات كبيرة نسبيا من هذا المركب فى دهن حيوانات اللحم ومنها الأبقار وأيضا فى لبن الأمهات فى الإنسان وذلك فى المناطق التى تم رشها بهذا المركب. ولكن حتى الآن غير معروف ضرر هذا المركب تماما على الإنسان حيث أنه غير معروف حتى الآن إذا كان هذا المركب يتم تركيزه

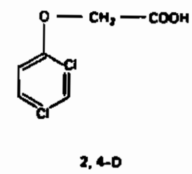
داخل جسم الإنسان لعدم هدمه وبالتالى يصبح ضار أو أنه يتم هدمه داخل جسم الأنسان وبالتالى يتم التخلص من تأثيره السام أو حتى أنه يتم خروجه بسهولة مع البراز أو إفرازات العرق وفى جميع هذه الحالات الأخيرة يصبح مأمون للإنسان أما فى الحالة الأولى فى حالة تركيزه بداخل الجسم فإنه يكون شديد الضرر. ونتيجة لذلك ولسلامة الأنسان فقد تم تحريم إستعمال هذا المركب. ولكن لازال يوجد مؤيدين لأستعمال هذا المركب ويعتقدون أن فوائد أستعمال هذا المركب تفوق ضرره. وعلى العكس من ذلك فإن المعارضين لأستعماله يعتقدون أن إحتمال حدوث السرطان وحالة إجهاض واحدة للسيدة الحامل كافية لتحريم أستعمال هذا المركب حيث أن الفائدة الوحيدة الأساسية أنه يسبب سقوط الأوراق بسهولة وبذلك يوفر كثير من العمالة وهى باهظة التكاليف فى الدول المتقدمة وأيضاً يعضدون أزالة بادرات أشجار الغابات غير المرغوبة بالأقتلاع باليد مع توفير مبيد آخر فعال فى هذا الصدد وغير ضار بالأنسان أو الحيوان. يعتبر هذا المركب أكثر فاعلية من 2,4 - D ويستعمل هذا المركب بكثرة فى قتل النباتات المعمرة الخشبية woody perennial وذلك برش هذا المبيد على النباتات أو معاملة القلف به.

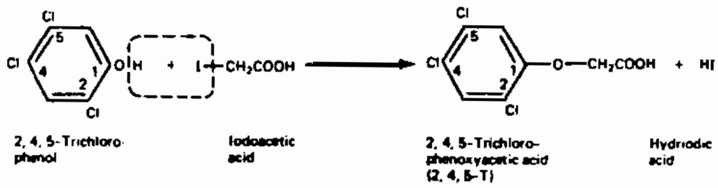
جميع المركبات المذكورة سابقاً مبيدات حشائش أوكسينية auxin-type herbi-cides أى تدخل فى مجموعة الأوكسينات ولكن توجد مبيدات حشائش أخرى كثيرة غير أوكسينية.

وفيما يلى مختصر لبعض مبيدات الحشائش الأكسينية الأخرى:

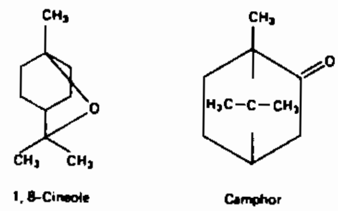
يعتبر 2,4 - DES غير سام للنباتات ولكن فى وجود التربه الرطبه يتحول إلى-2 (2,4 -dichlorophenoxy) ethanol والذى يتأكسد إلى 2,4 -D. يخلط مع simazine لمقاومه الحشائش الحوليه فى حقول الذره وبعض الفاكهه والورد وبعض المحاصيل المعمره وبعض أشجار وشجيرات الزينه. يباع تجاريا تحت أسم Herbon أو Herbon Blue. تركيبه الكيماوى 2-(2,4 -dichlorophenoxy) ethyl hydrogen sulphate (شكل ٩٠أ).

(أ)

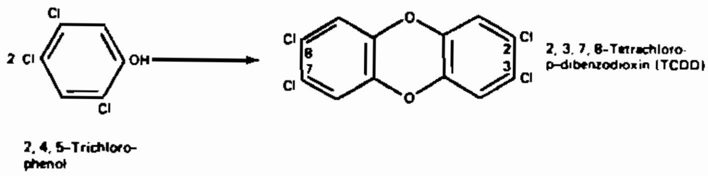




(ب)



مركبات متطايرة سامة للنبات



(شكل ٩٠): خطوات تخليق بعض مبيدات الحشائش

أ ـ كيفيه تخليق مبيد الحشائش T - 5 و 4 و 2.

ب ـ كيفيه تخليق TCDD أثناء تخليق T - 5 و 4 و 2 نتيجه لتفاعل جانبي.

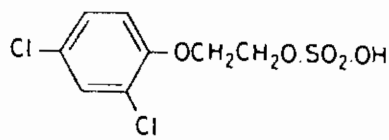
يعتبر *2,3,6-TBA* منظم للنمومبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربه وذلك يخلطه مع منظمات نمو أخرى مبيده للحشائش وذلك في حقول نباتات الحبوب ومحاصيل *grass seeds* أي *grass seed crops* لمقاومة الحشائش الحوليه والمعمره عريضه الأوراق.ومن هذه الحشائش *Bilderdykia convolvulus* و *Galium aparine* و *Polygomum aviculare* و *Polygonum persicaria* و *Chamomilla spp* و

Matricaria spp. يباع تجاريا بأسم Trysben وعند خلطه مع dicamba و*MCPA* وmecoprop يباع تجاريا بأسم Cambilene . تركيبه الكيماوى 2,3,6- trichloro- benzoic acid (شكل ٩٠أ).

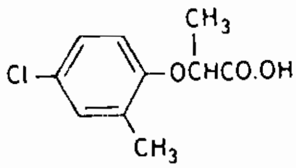
تعتبر MCPA منظم للنمو مبيد للحشائش ويمتص بسهوله بواسطة الجذور والأوراق. يستخدم فى مقاومة الحشائش العريضة الأوراق الحولية والمعمره فى حقول الحبوب والمسطحات الخضراء والمراعى و grassland . يباع تجاريا بأسم Agroxone و Agritox وPhenoxylene وCornoxM. تركيبه الكمياوى 4 - chloro-2- methylphenoxy)acetic acid) (شكل ١٩٠).

يعتبر MCPA-thioethyl منظم للنمو مبيد للحشائش، بعد الظهور فوق سطح التربة، الحولية و المعمره منها السعد والعليق و العجيزه والمنتنا (زربيح) والبربيط وأبوظلف و *Sagittaria* فى حقول القمح والأرز وحدائق الفاكهة.يباع تجاريا بأسم Herbit أو Zero One .تركيبه الكيماوى-S-ethyl(4 - chloro-2- methylphen oxy)ethanethioate (شكل ٩٠أ).

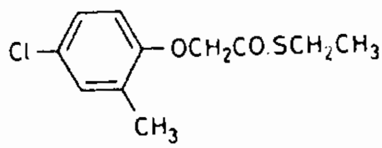
يعتبر MCPB منظم للنمو مبيد للحشائش، بعد الظهور فوق سطح التربه، الحوليه والمعمره عريضة الأوراق فى الحبوب والبسله والمسطحات الخضراء والمراعى.تعتبر حالة الأختصاص هنا والأختياريه فى السميه فى مدى قدره النباتات التى تتأثر به فى نقل هذا المركب داخلها.أى أن الأختياريه متوقفه على قدره المركب على الأنتقال داخل النبات وكلما زاد الأنتقال كلما زادت فاعليه وسمية المركب للنبات والأهم من ذلك هو قدره النباتات على تحويلة إلى MCPA السام.و أذا حدث الأنتقال ولم يحدث التحويل إلى MCPA فيعتبر ذلك المركب غير فعال كمبيد لهذا النبات.يباع تجاريا بأسم Tropotox. تركيبه الكيماوى -4 -(4 - chloro-2-methyl phen oxy)butyric acid (شكل ٩٠أ).



2 و 4 - DES

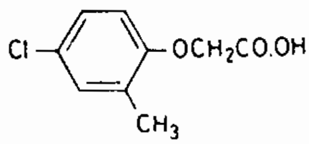


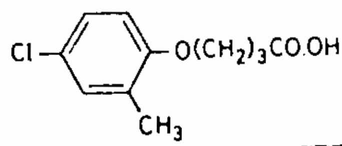
Mecoprop



MCPA - thioethyl

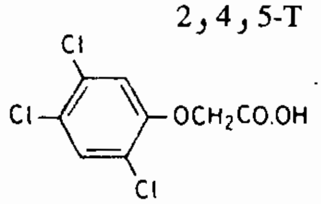
MCPA

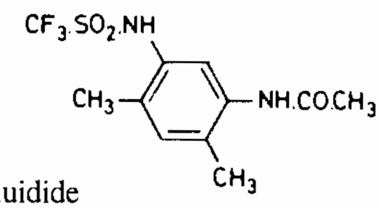




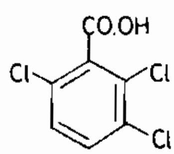
MCPB

2 و 4 و 5-T

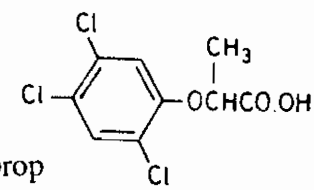




Mefluidide



2 و 3 و 6-TBA



Fenoprop

(شكل ٩٠أ) : التركيب الجزيئى لبعض مبيدات الحشائش الهورمونية.

يعتبر 2,4,5-T منظم للنمو مبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربه وقد يخلط مع2,4 - D يستعمل فى مقاومه الحشائش وأيضا لمقاومه الأشجار والشجيرات. يستخدم للرش على المجموع الخضرى والأفرع الساكنه وعلى قلف الأشجار.يستخدم فى عمل التحليق للنباتات والأشجار.يمتص بواسطة الجذور والأوراق والقلف.تستعمل استرات هذا المركب ضعيفة التطاير فى معلاملات ULV أى ULVapplication. يباع تجاريا بأسم weedone . تركيبة الكيماوى -5 و 4 و2 (trichlorophenoxy)acetic acid (شكل ٩٠أ).

يعتبر mecoprop منظم للنمو مبيد للحشائش بعد الظهور فوق سطح التربه.يقاوم chickweed والقزازه و cleavers وغيرها فى محاصيل الحبوب حوالى اكجم للفدان. يستخدم أساسا مع مبيدات حشائش أخرى فى صوره مخلوط لزياده المدى والفاعليه.يباع تجاريا بأسم Iso-Cornox. تركيبه الكيماوى-2 (±) 2-(4 -chloro-2- methylphenoxy) propionic acid (شكل ٩٠أ).

يعتبر mefluidide منظم للنمو مبيد للحشائش يستخدم فى تثبيط نمو وأنتاج البذور فى turf grasses والأشجار ونباتات الزينه الخشبيه.يستخدم فى زياده تركيز السكر فى قصب السكر. تثبيط النمو وأنتاج البذور فى كثير من الحشائش فى كثير من المحاصيل، وخاصة حشيشه الفرس *Sorghum halepense* الريزوميه فى حقول فول الصويا التركيز حوآلى ٣,كجم / فدان.يباع تجاريا بأسم Embark تركيبه الكيماوى5-(1,1,1-trifluoromethanesulphonamido) acet-2,4 -xylidide (شكل ٩٠أ).

يعتبر fenoprop منظم للنمو مبيد للحشائش ويتم أمتصاصه بواسطة الأوراق والسيقان. يستعمل فى مقاومة الحشائش المائيه و الحشائش ذات الورق العريض فى حقول الذرة والقصب. تستعمل الأحماض الأمينية لهذا المركب amine salts فى رش نباتات التفاح قبل جمع الثمار بحوالى أسبوع إلى أسبوعين لتقليل تساقط الثمار الطبيعى قبل الجمع وبذلك يزداد المحصول. يباع تجاريا بإسم Kuron و Fruitone T. تركيبه الكيماوى (±)2-(2,4,5-trichlorophenoxy) propionic acid (شكل ٩٠أ).

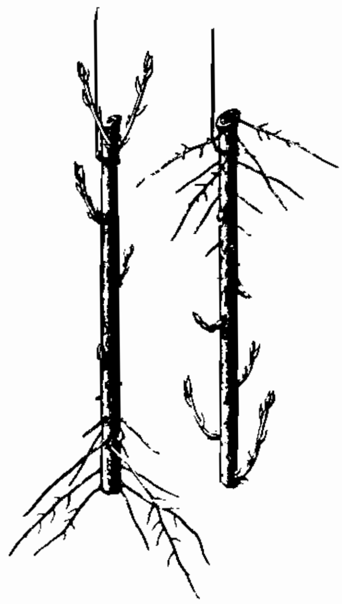
٧ ـ القطبية فى النباتات Polarity

تعرف القطبية فى النبات بأنها حدوث تغييرات وفروق واضحة فى طرفى محور axis وبحيث أن طرفى المحور يختلفان تماماً فى الشكل ومثال ذلك محور النبات plant axis حيث أن طرف يكون الجذر و الطرف الآخر يكون الساق.

تصنف القطبية إلى ثلاث أنواع وهى القطبية المحورية axial polarity وهى واضحة فى الساق وقليلة الوضوح فى الجذر والقطبية الظهرية الباطنية dorsiventral polarity وهى واضحة فى الأوراق حيث يوجد إختلاف فى التركيب التشريحى والظاهرى فى كل من الجزء العلوى والسفلى للورقة والقطبية القطرية radial polari-ty وهى واضحة فى بعض الأجزاء الكروية مثل خلايا طحلب كلوريلا *Chlorella* وثمار التفاح.

تعتبر القطبية المحورية هى الأكثر أهمية فى هذا الجزء. يعتبر من الواضح أن القطبية المحورية تتكون أثناء تكون الجنين بداخل الكيس الجنينى حيث أن الجذير يكون دائماً مواجه لفتحة النقير، ولذلك فإن القطبية تنشأ وتتحدد فى الجنين وهو داخل أنسجة الأم، وبالطبع يوجد على الطرف الاخر من محور الجنين الريشة. وعند حدوث القطبية فى أعضاء أو أجزاء الكائن الحى فإنه من الصعب تغييرها. ومن أدق وأفضل الأمثلة فى ذلك أن العقل الساقية عند قطعها من النبات وزراعتها فى وضع عادى أى الجزء العلوى من العقلة إلى أعلى والجزء السفلى إلى أسفل فأن القطبية تكون واضحة حيث يتكون على الطرف العلوى المجموع الخضرى وعلى الجزء السفلى المجموع الجذرى. ولكن عند زراعة العقلة مقلوبة فى أتجاه عكس الأتجاه السابق فإن الجذر يتكون على الجزء العلوى والمجموع الخضرى يتكون على الجزء السفلى أى أن القطبية واضحة فى العقل الساقية وأن تكوين المجموع الجذرى والمجموع الخضرى مرتبط بطرفى العقلة دون أى تأثير للجاذبية الأرضية فى ذلك. يتضح من ذلك من تجربة فيفر Pfeffer عام ١٩٠٣ حيث قام بتعليق عقلتين من ساق نبات الصفصاف

فى الهواء وبحيث يكون وضع أحد العقلتين عادى ووضع العقلة الثانية عكسى. أجرى هذه التجربة فى جو عال أو مشبع بالرطوبة. كانت النتيجة تكوين قمة مورفولوجية morphologically upper end على العقل أى أن الجزء العلوى من العقلة الساقية هو عبارة عن قمة مورفولوجية يتكون منها المجموع الخضرى دون أى تأثير لأتجاهها ووضعها (شكل ٩١).



(**شكل ٩١**) : القطبية فى ساق صفصاف.

الشمال : ساق مقطوعة معلقة فى جو مشبع بالرطوبة.

اليمين : ساق مقطوعة معلقه مقلوبه الوضع فى جو مشبع بالرطوبة.

يلاحظ أن الجذور تنمو من القاعدة المورفولوجية والسيقان تنمو من القمه المورفولوجية دون تأثير لوضع الساق مقلوبة أو عادية.

وحيث أنه لا يوجد إختلاف فى الشكل المورفولوجى للعقلة فى كلا الطرفين ولكن من الواضح أنه يوجد قطبية فسيولوجية physiological polarity بين طرفى العقلة وهى المسئولة عن تكوين الأختلاف فى الشكل المورفولوجى على طرفى العقلة دون أى تأثير للجاذبية الأرضية فى ذلك. توجد آراء مختلفة فى تفسير القطبية

الفسيولوجية. أحد هذه الآراء أنه يوجد تدريج فى تركيز المواد الغذائية والمركبات المختلفة الضرورية للعقلة gradient of metabolites بين طرفى العقلة نتيجة لأختلاف تدريجى فى تركيز هذه المركبات بين الساق والجذر. يعتبر هذا الرأى غير سليم حيث أن طول العقلة قصير نسبياً ولا يصل فى طول النبات أو الساق أو الجذر وبالتالى أن إختلاف تركيز هذه المركبات فى طرفى العقلة غير موجود أو ضعيف جداً. كما أن العقل يتم أخذها من النبات فى كثير من الأحوال أثناء سكون النبات وبالتالى فإنه لا يوجد إختلاف فى تركيز هذه المواد فى داخل النبات وبالتالى فإنه لا يوجد إختلاف فى تركيز هذه المواد فى العقلة أيضاً ولذلك يعتقد أن هذا التأثير راجع لأختلاف فى تركيز الهورمونات وخاصة الأوكسينات داخل العقلة، ويجب أيضاً التنوية أن الأختلاف فى تركيز الهورمونات داخل العقلة نتيجة للقطبية فى العقلة وليست هى السبب فى حدوث القطبية.

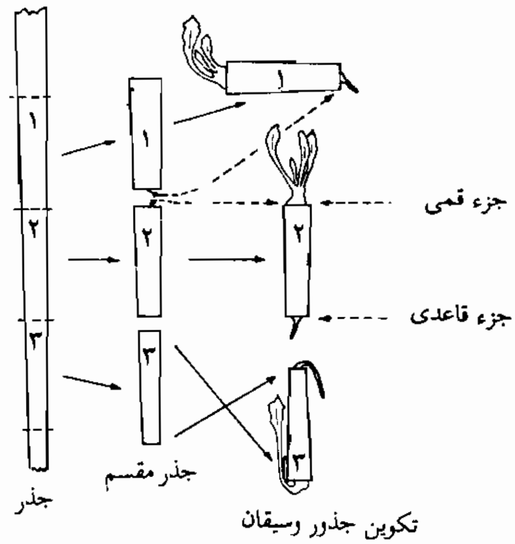
وقد لوحظ أن هناك إرتباط بين كل من ظاهرة القطبية عند تكوين الجذور العرضية وحركة إنتقال الأوكسينات فى كثير من الحالات.

تحدث ظاهرة القطبية فى جذور بعض النباتات مثل الشيكوريا و *Taraxacum* ولكنها غير عامة الحدوث بالمقارنة بالساق. ومما يثبت ذلك أنه عند تجزيىء الجذر إلى ثلاث أجزاء وزراعة الجزء الأول أفقى والجزء الثانى رأسى فى الوضع العادى والجزء الثالث رأسى منعكس أى فى الوضع المقلوب فإنه يتكون دائماً من الجزء العلوى من العقلة مجموع خضرى ويتكون من الجزء السفلى مجموع جذرى دون أى تأثير لأتجاه وضع أو زراعة العقلة (شكل٩٢).

٨ - الحركة الأنسابية للبروتوبلازم Protoplasmic streaming (cyclosis)

عند معامله بعض الخلايا أو الأنسجة النباتية بأندول حامض الخليك فأنه يسبب زيادة فى سرعة الحركة الأنسيابية للبروتوبلازم ومثال ذلك خلايا غمد الريشة لنبات الشوفان وخلايا الكمبيوم فى الصنوبر والشعيرات الموجودة على أسدية نبات *Trades-cantia* لايوجد أى تأثير لزيادة هذه الحركة على نمو النبات بواسطة الأوكسين

حيث وجد أن معاملة هذه الخلايا بمركب cytochalasin يسبب توقف الحركة الأنسيابية للبروتوبلازم وبالرغم من ذلك فإن النمو يحدث بنفس السرعة.



(شكل ٩٢): القطبية فى جذور الشيكوريا ونبات *Taraxacum*

يلاحظ تكون السيقان والجذور فى قطع الجذور فى القمة والقاعدة على التوالى دون أى تأثير لأتجاه وضع جزء الجذر.

٩ - تشجيع الأزهار Induction of flowering

تشجيع الأزهار فى نبات الأناناس pineapple يحدث بواسطة معاملة النبات بأوكسين نفثالين حامض الخليك فى مرحلة معينة وفى وقت مناسب .كما أن الثمار المتكونة تكون متجانسة فى نموها وبالأضافة إلى ذلك يمكن جمعها مرة واحدة أو فى مدد متقاربة.

١٠ - خف الثمار Thinning of fruits

يمكن أستخدام منظمات النمو فى خف الثمار بعد العقد حيث أن وجود عدد كبير من الثمار بعد العقد يسبب تكوين ثمار صغيرة الحجم ولذلك فإن خف الثمار بعد العقد يسبب تكوين ثمار ذات حجم كبير مناسب وذات قيمة إقتصادية يستخدم

ذلك فى بعض النباتات مثل التفاح. يمكن أستخدام أوكسينات لمنع سقوط الثمار الكبيرة ومن أمثلة ذلك التفاح أيضاً. يتضح من ذلك وجود ظاهرتين متضادين هى التساقط ومنع التساقط يمكن التحكم فى هاتين الظاهرتين المتضادتين بإختيار موعد المعاملة فى كل حالة وأيضاً بإختيار التركيز المناسب فى كل حالة وبذلك يمكن أنجاز هاتين الحالتين المتضادتين بكفاءة عالية وفى النبات الواحد. ويلاحظ أن كلاهما يحدث نتيجة لتأثير الأوكسينات.

الجبريللينات

GIBBERELLINS

مقدمة تاريخية عن اكتشافها:

يرجع الفضل فى اكتشاف الجبريللينات إلى العلماء اليابانيون حيث أنه من أوائل القرن العشرين وحتى عام ١٩٢٦ لاحظ مزارعوا الارز اليابانيين أن بعض بادرات الارز تنمو بطول كبير جداً غير عادى بالنسبة للبادرات العادية وقد لاحظوا أيضاً أن هذه البادرات الطويلة تكون قصيرة العمر وتموت ولا تكون نباتات وأحياناً قليلة تكون نباتات طويلة وذات أوراق متميزة الطول لا تزهر أو لا تعطى أزهار بالكمية الكافية كما أن الأزهار تكون عقيمه لا ينتج منها حبوب أو تتكون حبوب أرز ضامرة عديمة القيمة الاقتصادية وقد اشتكي المزارعون من هذه الظاهرة كثيراً وفي سنة ١٩٢٦ تمكن العالم الياباني كوروساوا Kurosawa من اثبات أن هذه الحالة حالة مرضية تنتج عن فطر اسمه *Fusarium moniliforme* وأن هذا الفطر هو الطور الناقص لطور من الفطريات الآسكية وهو الطور الكامل ويسمى *Gibberella fujikorei*. وقد امكنه اثبات أن جراثيم هذا الفطر ممكن أن تحدث الاصابة للبادرات وتحدث نفس الأعراض وقد سمى هذا المرض باسم foolish seedling disease مرض البادرة الحمقاء كما سمى أيضاً Bakanae disease. وقد وجد هذا العالم علاوة على ذلك أنه عند تنمية هذا الفطر على بيئة سائلة ثم أخذ راشح هذا الفطر فى البيئة دون

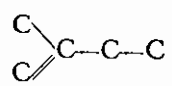
الهيفات أو الجراثيم فأن هذا الراشح يمكن أن يحدث نفس الأعراض المرضية الا أنه لسوء الحظ لم يتمكن من فصل المركب الفعال فى صورة نقية حيث أنه كان يختلط دائماً مع هذا المركب مركب يفرزه هذا الفطر وهو حامض الفيوزاريك fu-saric acid ولم يكن يعلم هو بذلك. الا أنه سنة ١٩٣٥ ـ ١٩٣٨ تمكن Yabuta اليابانى من عزل مركب فعال يحدث نفس الأعراض السابقة وهو فى صورة بلورية نقية وسماه بالجبريللين Gibberellin A منسوبا إلى اسم الفطر. وحيث أن جميع هذه الابحاث كانت تجرى فى معامل اليابان وبواسطة العلماء اليابانيون فأن نشر هذه البحوث كان كله فى مجلات يابانية ولذلك لم ينتبه العلماء الغربيون إلى هذه البحوث الا بعد قيام الحرب العالمية الثانية وانتهائها ففى حوالى سنة ١٩٥٠ تنبه العلماء الغربيون لهذه البحوث القيمة وقد نشط كل من العلماء الامريكان والانجليز واليابانيون أيضاً فى هذا الصدد حتى تمكن العلماء الانجليز Curtis وآخرون سنة ٥٤ ـ ١٩٥٥ من عزل أول مركب فى العالم الغربى فى صورة نقية وأعطى تركيبة الصحيح، وقد كان هذا التركيب مخالفاً إلى حد ما للتركيب الذى حدده العلماء اليابانيون لهذا المركب وقد سمى العلماء الأنجليز هذا المركب باسم حامض الجبريلليك Gibberellic acid، وقد توالت البحوث بعد ذلك حيث أمكن عزل مركبات مختلفة للجبريللينات من فطر الفيوزاريم وأيضاً من النباتات الراقية وفى فترة قصيرة نسبياً وصل عدد هذه المركبات إلى أكثر من ٢٠ مركب وقد سميت هذه المركبات باسم Gibberellin (GA1) و Gibberellin 2 (GA2) وكذلك Gibbe-rellic acid (GA3) وهكذا تسمى هذه المركبات. ولكن بتقدم طرق الفصل وطرق الكيمياء التحليلية فقد قفز هذا العدد الآن فى مركبات الجبريللين الى ٦٢ مركب حتى عام ١٩٨٤، وهذه المركبات لها هيكل أساسى واحد ولكنها تختلف فى موقع وعدد الروابط المزدوجة الموجودة فى الجزيئ وأيضاً فى موقع مجموعة OH وغيرها وقد وجد أيضاً بعض المركبات الآخرى تشابه فى تأثيرها تأثير الجبريللينات ومن هذه المركبات مركب helminthosporic acid الذى يعزل من الفطر *Helminthospori-um sativum* وهو شبيه الجبريللين Gibberellin - like activity حيث أن له نشاط

مشابه الجبريللين، ولكن يختلف هذا المركب فى تركيبه الجزيئى عن الجبريللين تماماً.

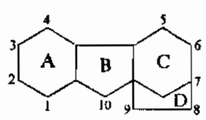
وجد فطر آخر وهو *Sphaceloma manihoticola* وهو فطر أسكى أيضاً يسبب مرض الطول الزائد super elongation disease فى الكاسافا cassava وينتج جبريللين ٤ ـ GA4.

تعريف الجبريللينات:

الجبريللينات هى مركبات تسبب استطالة فى خلايا الساق السليم. ويوجد تداخل ملحوظ بين تأثير الأوكسينات والجبريللينات حيث أن كل منهما يسبب استطالة لخلايا الساق ولكن توجد فروق هامة بين هاتين المجموعتين من الناحية التركيبية للجزيئ. فإن جميع مركبات الجبريللينات المكتشفة لها هيكل skeleton واحد أساسى ومشتقات مختلفة لهذا الهيكل وهذا الهيكل اسمه Gibbane skeleton (شكل ٩٣) وهو مركب عديد الحلقات (٤ حلقات) بالاضافة الى ذلك تأثير الجبريللينات أساساً يختبر على النباتات السليمة ويكون تأثير الجبريللينات ضعيف على الأجزاء الساقية المقطوعة أو معدوم والعكس صحيح فى الأوكسينات حيث أنها تختبر على أجزاء ساقية مقطوعة كما سبق شرحه فى الأوكسينات.



Isoprene unit (5-C)



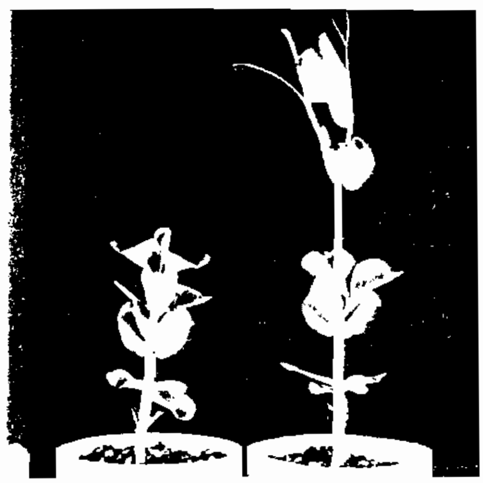
gibbane حلقات جزيئ

(شكل ٩٣): هيكل جزيئ gibbane وجزيئ isoprene

قد تختلف الجبريللينات فى تأثيرها على طول النباتات العادية ولكنها عادة تؤثر على زيادة طول النباتات العادية ولكن بدرجة غير كبيرة نسبياً. ولكن تأثير الجبريللينات على النباتات القزمية يكون عظيما حيث أنه من المعروف فى نباتات الذرة والفاصوليا والأرز والبسلة و *Pharbitis* (شكل ٩٤) هى نباتات لها سلالات عادية فى الطول ولكن توجد سلالات أخرى من هذه النباتات قزمية وقد وجد أن الاختلاف الوحيد فى بعض هذه الحالات هو نتيجة اختلاف فى جين واحد فقط بين النبات القزمى والنبات العادى وأن هذا الجين هو المسئول عن تكوين الجبريللين أو عدم تكوينه. والدليل على ذلك أنه عند استعمال نباتات قزمية ومعاملتها بمحلول الجبريللين فقط كمعاملة وحيدة فأن هذه النباتات تستطيل لتصبح فى طول النبات العادى فمعنى ذلك أن الفرق بين السلالات الطويلة والسلالات القزمية فرق واحد هو أن السلالات الطويلة قادرة على تخليق الجبريللين والسلالات القزمية غير قادرة على تخليقه وعند أضافة الجبريللين للنباتات القزمية فيصبح لها شكل ظاهرى phenotype غير شكلها القزمى الاصلى حيث أنها تصبح سلالات طويلة وتسمى phenocopies. سلالات الذرة القزمية المستعملة فى هذه التجارب عبارة عن طفرة فى جين واحد single gene mutantمن السلالات العادية من الذرة حيث أصبح الجين غير قادر على تخليق الجبريللين بينما فى السلالات العادية فإنه قادر على تخليق الجبريللينات أى أن الـ genotye مختلف.

وقد وجد أن الجبريللينات المختلفة قد تختلف فى تأثيرها على النباتات المختلفة تبعاً لتركيبها. وقد وجد بتحليل النباتات العادية والقزمية أن النباتات القزمية فعلا تحتوى على تركيز قليل من الجبريللينات بالمقارنة إلى تركيزها فى النباتات عادية الطول ولكن هذه الحالة فى بعض النباتات القزمية ولكن فى بعض النباتات الأخرى القزمية وجد أن تركيز الجبريللينات فى النباتات القزمية ونباتات عادية الطول تقريباً تركيز متساوى وعند تحليل أنواع الجبريللينات الموجودة فى النباتات القزمية وجد أنها تختلف عن أنواع الجبريللينات الموجودة فى النباتات العادية الطول ومن ذلك يتضح أن نوعية الجبريللين تؤثر أيضاً على الاستطالة بمعنى أن بعض الجبريللينات يكون تأثيرها ضعيف والبعض الاخر ذو تأثير كبير واضح على أستطالة النبات.





(**شكل ٩٤**) : تأثير حامض الجبريلليك على نمو الذره (أعلى) والبسله (أسفل) .

ومن ذلك يمكن القول أن تركيز الجبريللينات مهم لتحويل النباتات القزمية الى نباتات عادية الطول وأيضاً نوعية الجبريللينات مهمة فى حدوث هذا التأثير. بالأضافة الى الفرقين الرئيسين بين الأوكسينات والجبريللينات كما سبق ذكره وهما الفرق فى التركيب والأختبار على النبات السليم أو المقطوع فأنه توجد فروق رئيسية أخرى أهمها ما يأتى (جدول ٣) .

(**جدول ٣**) : ملخص لبعض التأثيرات الكبرى للأوكسينات والجبريللينات.

نوع النشاط الاستجابى	الأوكسينات	الجبريللينات
١ ـ السيادة القمية.	يشجع	ليس له تأثير
٢ ـ استطالة غمد ريشة الشوفان.	يشجع	ليس له تأثير
٣ ـ استطالة الساق والأزهار فى النباتات ذات النمو المتورد ذات الحولين والغير مرتبعة وكذلك ذات اليوم الطويل.	ليس له تأثير	يشجع
٤ ـ تكوين الكالس فى نخاع الدخان.	يشجع	ليس له أثر
٥ ـ احتفاظ الأوراق المفصولة بالكلورفيل.	ليس له تأثير	يشجع
٦ ـ نمو السويقة الجنينية السفلى الكاملة الخاصة بنبات الخيار.	يشجع	يشجع
٧ ـ نمو قطع ساق نبات البسلة القزمى.	يشجع	ليس له تأثير
٨ ـ نمو الساق الكامل لنبات البسلة القزمى.	ليس له تأثير	يشجع
٩ ـ حركة الاستجابة الموضعية العلوية epinasty.	يشجع	ليس له تأثير
١٠ ـ تساقط الأوراق.	يشجع أو يثبط	ليس له تأثير
١١ ـ تكوين الثمار اللابذرية (الطماطم).	يشجع	يشجع
١٢ ـ الانتقال القطبى.	نعم	لا
١٣ ـ تنشئة الجذور.	يشجع	ليس له تأثير
١٤ ـ نمو الجذور.	يشجع	ليس له تأثير
١٥ ـ إنبات البذور وكسر الكمون.	ليس له تأثير	يشجع

طرق أستخلاص الجبريللينات:

يتم ذلك بطريقتين كما فى الأوكسينات

١ ـ الأنتشار **Diffusion**

يشابه ما سبق وصفه فى الأوكسينات لأستخلاص الأوكسين الحر. أستخدمت هذه الطريقة لأول مرة عند إستخلاص الجبريللين من قمة نبات عباد الشمس. يتم قطع القمة النامية للنبات ووضعها على طبقة رقيقة من الأجار وذلك لمدة تتراوح بين ١٢ ـ ٢٤ ساعة. تجرى التجربة فى جو به رطوبة عالية وضوء عادى. ينتشر الجبريللين إلى قطعة الآجار. يعتبر ذلك أيضاً جبريللين حر.

٢ ـ الأستخلاص بالمذيبات العضوية **Solvent extraction**

يتم أستخلاص الجبريللينات من راشح فطر *Gibberella fujikuroi* والنباتات الزهرية بواسطة مذيبات معينة مثل كحول الميثيل أو الأسيتون أو حتى بعد تخفيف هذين المذيبين فى الماء. يعتبر الجبريللين المستخلص بهذه الطريقة هو الجبريللين الكلى الحر والمقيد، يمكن حساب كمية الجبريللين المقيد وذلك بطرح الجبريللين الحر المستخلص بالطريقة السابقة من الجبريللين الكلى والذى يقدر بهذه الطريقة.

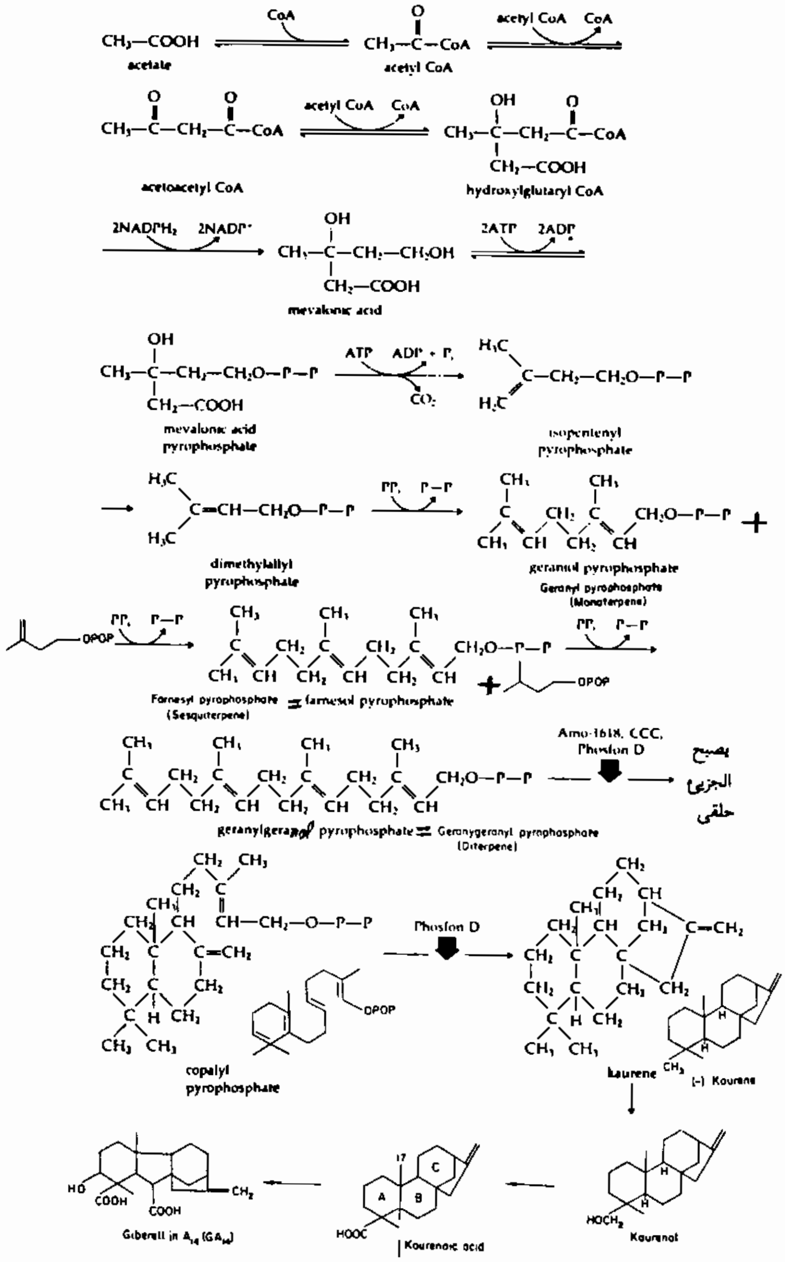
تخليق الجبريللينات:

تم معرفة الكثير عن التخليق الحيوى للجبريللينات عن طريق الدراسات عن الفطر الأسكى *Gibberella fujikuroi* وأيضاً على بعض النباتات الزهرية وذلك بإستخدام الإندوسبرم الغير ناضج لبذور هذه النباتات ومنها *Echinocystis macrocarpa* والقرعيات *Cucurbita pepo* وأيضاً بإستخدام الثمار غير الناضجة لنبات البسلة وبادرات نبات *castor bean*. وجد أن تخليق الجبريللينات متماثل فى الفطريات والنباتات الزهرية.

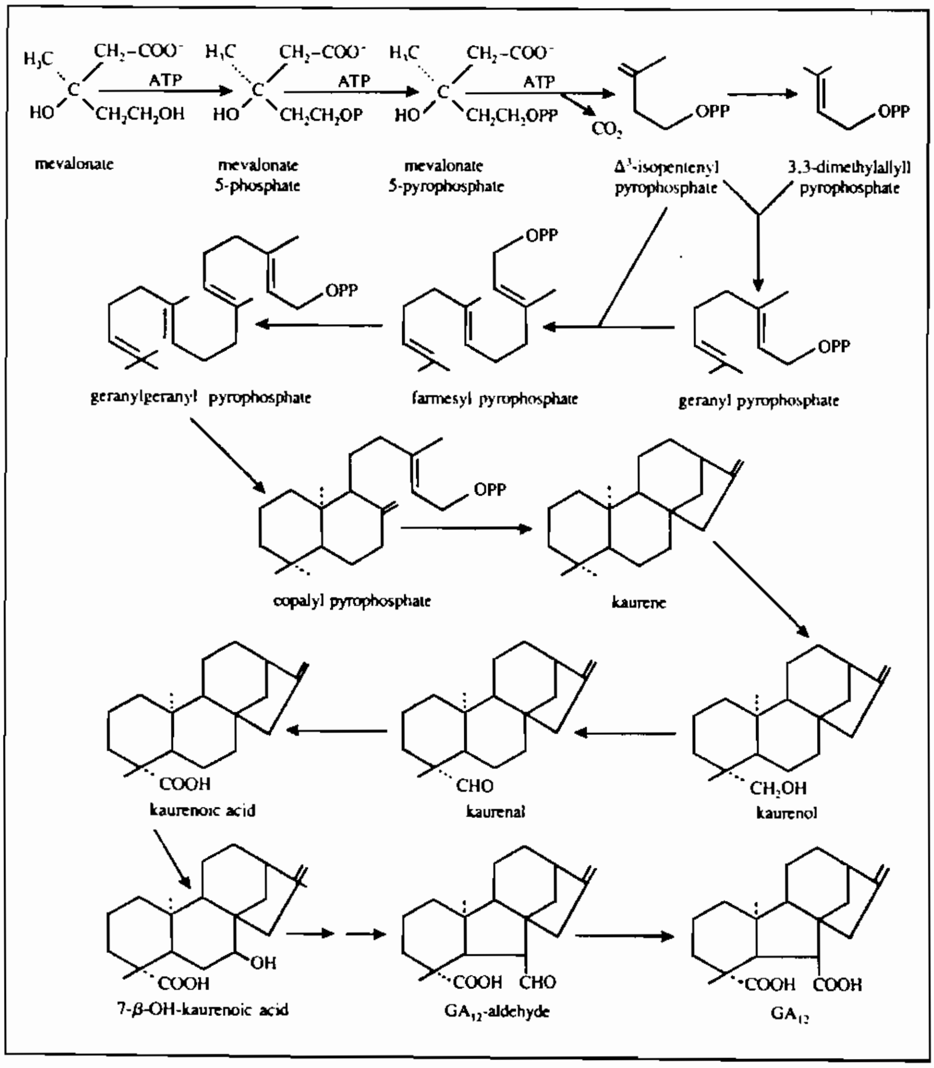
يوجد تشابه فى تركيب المركبات التربينية terpenes أو شبه التربينية terpenoids وتركيب الجبريللينات. تختلف المركبات السابقة فى تركيبها إلا أنها تشترك فى

الوحدة البنائية وهى جزيىء يتكون من خمس ذرات كربون يسمى isoprene unit (شكل ٩٣). وكل وحده تربين terpene تتكون من عشره ذرات كربون أى من وحدتين isoprene. يتكون جزيىء الجبريللين من أربع وحدات isoprene أى وحدتين تربين ولذلك تسمى الجبريللينات أنها ثنائية التربين diterpenoids. ولذلك يتكون جزيىء الجبريللين من أربعة حلقات وهى D,C,B,A ويسمى هذا الهيكل بإسم gibbane skeleton (شكل ٩٣). تشترك جميع الجبريللينات فى أنها تتكون من هذا الهيكل. وفيما يلى خطوات تخليق مركبات الجبريللين: نستطيع أن نرى من أول لمحة أن جميع الجبريللينات تتشابه مع بعضها بدرجة كبيرة من الوجهة الكيمائية، فكلها لها نفس الهيكل الكربونى العام وتتشابه تركيبياً. والجبريللينات تنتمى كيمائياً إلى مجموعة كبيرة من المركبات الموجودة طبيعياً وتسمى التربينويدات terpenoids، والتى يوجد عدد كبير منها فى النباتات مثل الأستيرولات sterols والكاروتينويدات carotenoids. والتربينويدات terpenoids تبنى من وحدات ذات خمس ذرات كربون وتسمى وحدات أيزوبرين isoprene unit ـ وتكون الوحدتان من أيزوبرين مركب التربين الأحادى (C-10) monoterpene ـ والثلاث وحدات تكون ما يسمى التربين مرة ونصف (C-15) sesquiterpene ـ أما الأربع وحدات فتكون التربين الثنائى (C-20) diterpene. المنشىء الوسطى intermediate precursor للجبريللين مركب ثنائى التربين يسمى كاورين kaurene. والجبريلينات هى مركبات تتكون من هيكل (ent - gibberellane) وهو يتكون من عشرين ذرة من الكربون أو من هيكل (ent - 20 norgibberellane) وهو يتكون من تسع عشرة ذرة كربون ـ وتتميز أحماض الجبريلين عن بعضها فى وجود أو عدم وجود تركيب اللاكتون (استر داخلى) فى حلقة (A) – والبدائل أو الإحلالات خصوصاً مجاميع الهيدروكسيل (OH) حول التركيب الحلقى ككل ـ وتتحول الجبريلينات فيما بينها بسهولة فى الكائن الحى عن طريق إحلالات مجاميع الآيدروكسيل (OH) ـ وهذه العملية ربما تكون مهمة فى إنتاج الصورة النشطة زيادة عن الصور الغير نشطة والعكس بالعكس، ويعتمد هذا على وجود إنزيمات تحفيز مجاميع الهيدروكسيل

hydroxylating enzymes خلال المراحل التطورية المختلفة للنبات. ترجع معظم معلوماتنا عن البناء الحيوى للجبريللين فى النباتات إلى الدراسات الخاصة بالبذور الغير ناضجة ـ ولقد قام وست West ومساعدوه بتجارب على الإندوسبرم السائل للبذور الغير مكتملة لأنجاز معظم هذا العمل، ولم تترك تجارب النظائر المشعة radioactive isotope أى شك على مشاركة الخلات acetate كمنشيء أولى primary لبناء الجبريللين (شكل ٩٥ أ ـ د) ودلت الأبحاث أيضاً كما هو الحال فى العديد من مسالك البناء الحيوية، أن انتقال مجاميع الخلات النشطة active acety1 groups يقوم به المرافق الإنزيمى Coenzyme A - A (CoA) ، وهو المرافق المتخصص فى نقل مجاميع الخلات. وتتضمن الخطوات القليلة الأولى للبناء الحيوى للجبريلين تكوين ثلاثة جزيئات من خلات المرافق الإنزيمى ـ أ (acetyl CoA) وتكثيفهم النهائى لتكوين حمض الميفالونيك mevalonic acid. وفى وجود جزيئين من ATP وأحد إنزيمات التنشيط kinase enzyme يفسفر حمض الميفالونيك فى خطوتين ليكون حمض الميفالونيك بيروفوسفات mevalonic acid pyrophosphate ـ وتحدث عملية نزع مجموعة الكربوكسيل لحمض الميفالونيك بيروفوسفات وذلك فى وجود ATP وأحد إنزيمات نزع مجموعة الكربوكسيل decarboxylation فينتج مركب إيزوبنتنيل بيروفوسفات isopentenyl pyrophosphate (IPP) ـ وهذا المركب هو وحدة أيزوبرينويد isoprenoid ذو خمس ذرات كربون ويشتق منها كل الكاروتنويدات carotenoids والجبريلينات gibberellins وحمض الأبسيسيك (ABA) وجزء من السيتوكينينات cytokinins وتحدث لمركب (IPP) إيزوبنتنيل بيروفوسفات «عملية تشابه» isomerization ويتكون مركب ثنائى ميثيل الليل بيرو فوسفات di-methylallyl pyrophosphate وهو يكون الخطوة الأولى فى إتجاه بناء التربنويدات المتقدمة higher terpenoids.

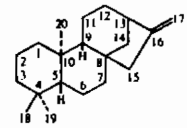


(شكل ١٩٥أ) : خطوات تكوين الجبريللين من حامض الخليك.ومكان عمل معوقات النمو فوسفون D وآمو ١٦١٨ و CCC. (التركيب الحلقي بالتفصيل)

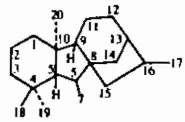


(شكل ٩٥ب) : خطوات تخليق الجبريللينات من حامض الميفالونيك

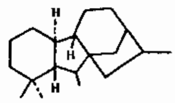
فى نبات قرعيات *Cucurbita pepo* . (التركيب الحلقى دون كتابة الذرات)



ent-kaurene-*ent*-kaur-16-ene. (−)-kaurene



ent-gibberellane (C_{20}-GAs)



ent-20-norgibberellane (C_{19}-GAs)

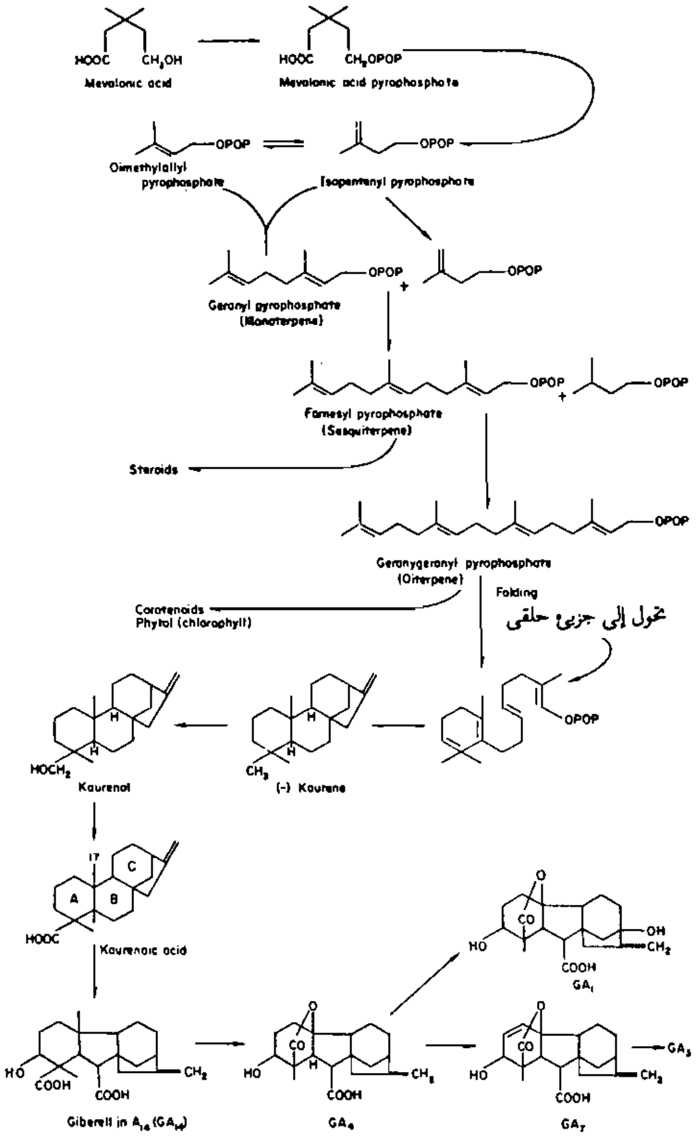
(شكل ٩٥ جـ) : التركيب الأساسى الهيكلى للجبرلينات.

أ ـ التركيب الأساسى للجبريللينات عموما.

ب ـ التركيب الأساسى للجبريللينات ٢٠ ذرة كربون.

حـ ـ التركيب الأساسى للجبريللينات ١٩ ذره كربون.

وتفاعل التشابه السابق ذكره يحفزه إنزيم Ipp isomerase ويعمل مركب (Ipp) كمستقبل لمركب آخر من نوعه (Ipp) ويعطى تفاعل التكثيف مركب ذو عشر ذرات من الكربون ويسمى جيرانيول بيروفوسفات geraniol pyrophosphate وبإضافة وحدتان متتاليتان من مركب Ipp إلى مركب geraniol pyrophosphate يؤدى إلى تكوين فارنيزول بيروفوسفات C-I5 farnesol pyrophosphate أولاً ثم بعد ذلك يتكون مركب (diterpene geranylgeraniol pyrophosphate) (C-20) ويتحول بعد ذلك هذا المركب إلى مركب diterpene alcohol copalyl pyrophos-phate أولاً ثم بعد ذلك إلى كاورين kaurene ـ ويتحول الكاورين kaurene بسهولة إلى جبريلين فى النباتات ، وفى النهاية يجب أن نذكر أن ميلبورو Milborow أوضح أن حمض الأبسيسيك abscisic acid وهو مركب sesquiterpenoid ينى



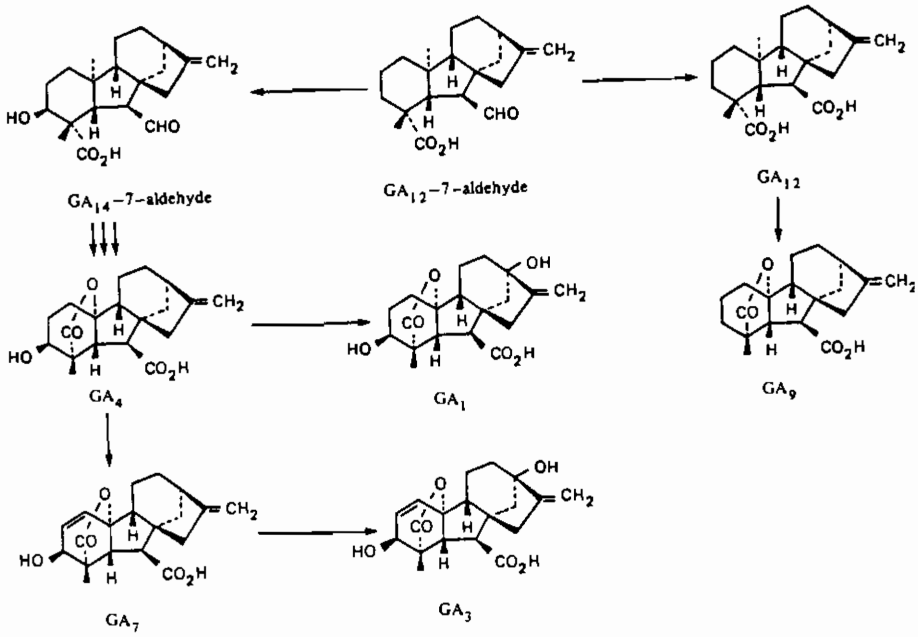
(شكل ٩٥ – د) : خطوات تحويل حامض mevalonic إلى الجبريللينات المختلفة في أشكال جزيئية مبسطة.

من الميفالونات mevalonate ويتبع نفس الخطوات المبدئية لمسْلك الجبريللين. ومن الجدير بالذكر أن كلا المنظمين regulators يكونان متضادان فى بعض نظم النمو النباتية المعينة، هذا وينتج فى البلاستيدات الخضراء كميات كبيرة من الجبريللينات وحمض الأبسيسيك.

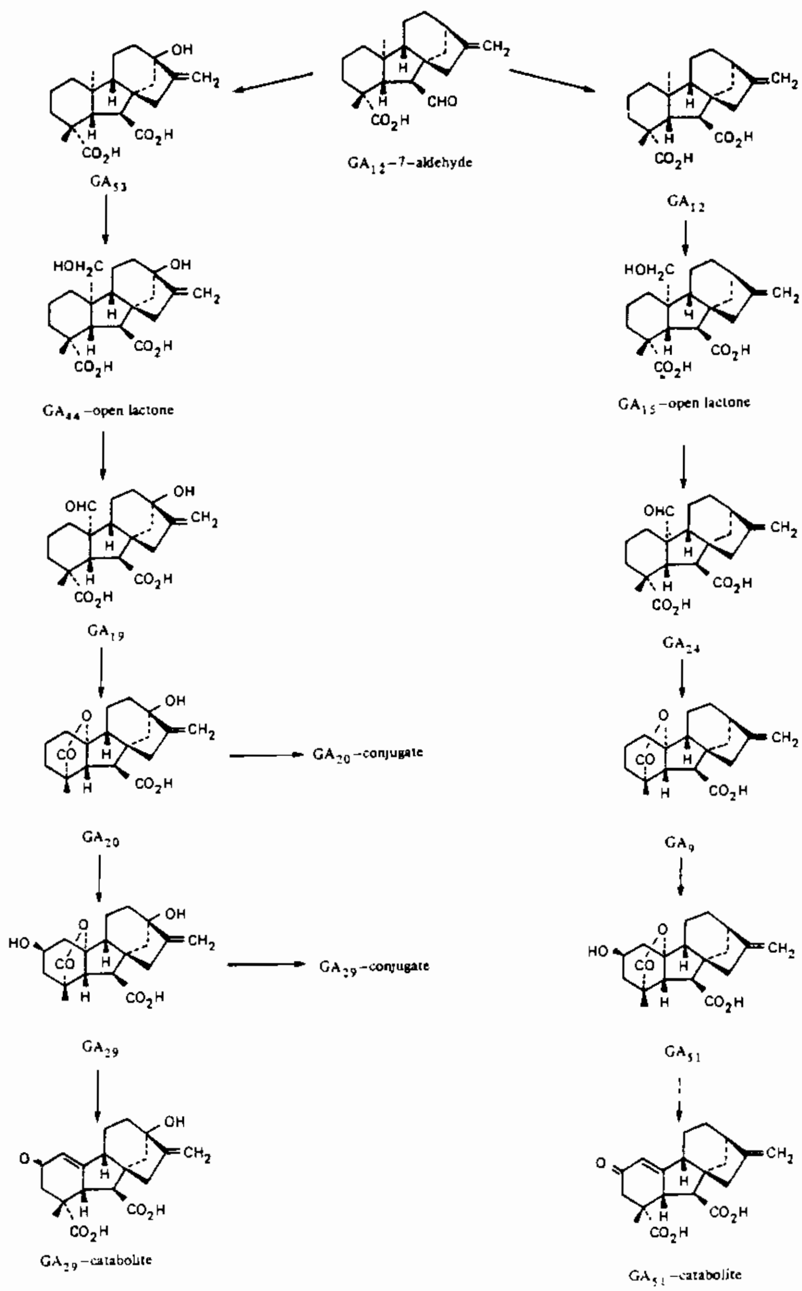
يمكن اختصار طريقة التخليق السابقة وعرضها بطريقة أكثر تبسيطاً وحيث يختصر بعض الخطوات كالآتى. يعتبر حامض الخليك المركب الذى يتكون منه الجبريللينات يتحد ثلاث جزيئات من حامض الخليك ليتكون جزيىء حامض ميفالونك mevalonic acid. يتحول الأخير إلى سلسلة مستقيمة أو شبه مستقيمة من مركب isopentenyl pyrophosphate وتوجد خطوات وسطية أثناء ذلك وهى حيث يتحول حامض الميفالونيك إلى ميفالونيك ـ ٥ ـ فوسفات mevalonate - 5 - phosphate فى وجود جزيىء ATP ثم يتحول الأخير إلى-mevalonate -5- pyro phosphate فى وجود جزيىء ATP ثم يتحول الأخير إلى -isopentenyl pyrophos phate فى وجود جزيئ ATP ويخرج جزيىء ك أ٢. يمكن أن يتكون من الأخير مركب 3,3 dimethylallyl pyrophosphate . يتحد المركبين الآخيرين ليكونان -ger anyl pyrophosphate. ثم يتحول الأخير ليكون مركب farnesyl pyrophosphate ثم يتحول المركب الأخير لتكوين مركب ثنائى التربين diterpene وهو -geranyl ger anyl pyrophosphate. يتكون المركب الأخير من عشرون ذرة كربون ويحدث له تحور لكى يصبح مركب حلقى وتسمى هذه الحالة cyclisation ويسمى المركب الناتج كاورين kaurene. يحدث التفاعل الأخير على خطوتين فى وجود أنزيم -kau rene synthetase حيث يتحول المركب geranyl geranyl pyrophosphate إلى مركب copalylpyrophosphate ثم يتحول الأخير إلى الكاورين. يعتبر المركب الأخير أول مركب حلقى يتكون أثناء تخليق الجبريللينات. يحدث للكاورين أكسدة ويكون مركبات kaurenol ثم kaurenal ثم kaurenoicومنها مركب-kaurene -7 ol -19-oic-acid ويسمى أيضاً المركب الأخير 7-B-oH-Kaurenoic acidومنه يتكون الجبريللين بعد ذلك. أول جبريللين يتكون هو جبريللين ٤ (GA4) فى حالة

فطر *Fusarium (Gibberella)* وجبريللين ١٢ (GA12) فى حالة نبات القرعيات *Cucurbita pepo* (شكل ٩٥).

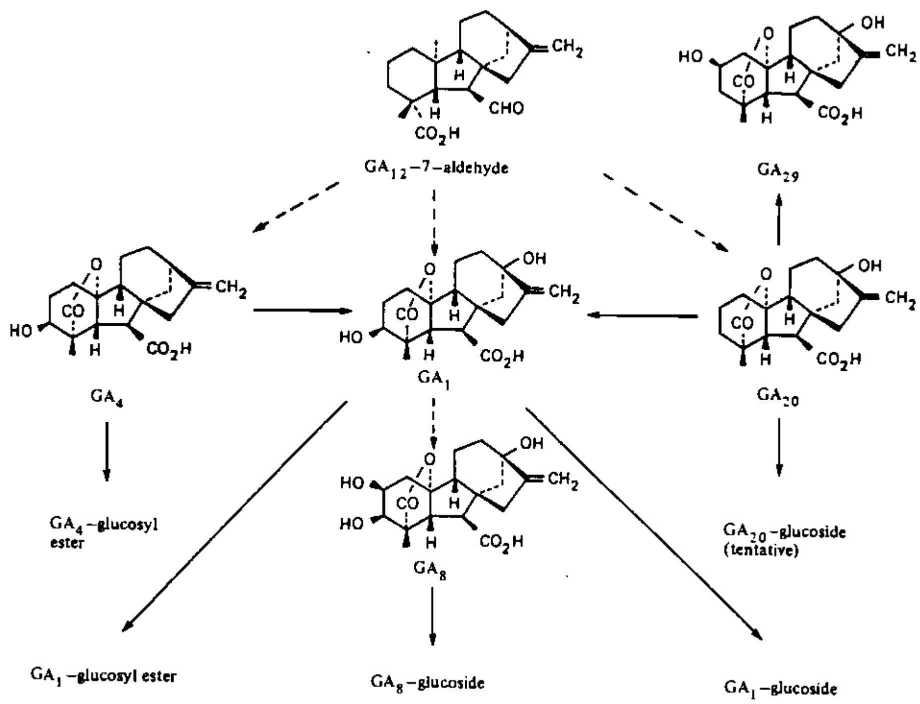
يحدث تكوين مركب الجبريللين من مركب جبريللين آخر وهكذا وتختلف طريقة التخليق ونوع الجبريللينات المتكونة بإختلاف الكائن الحى مثل جبريللا (شكل٩٦) ونبات البسلة (شكل ٩٧) وبذور الفاصوليا (شكل ٩٨) والذرة والسبانخ (شكل ٩٩) وبذور *Cucurbita maxima* (شكل ١٠٠).



(**شكل ٩٦**) : خطوات تحول جبريللين ١٢ فى مزارع الفطر *Gibberella fujikuroi*

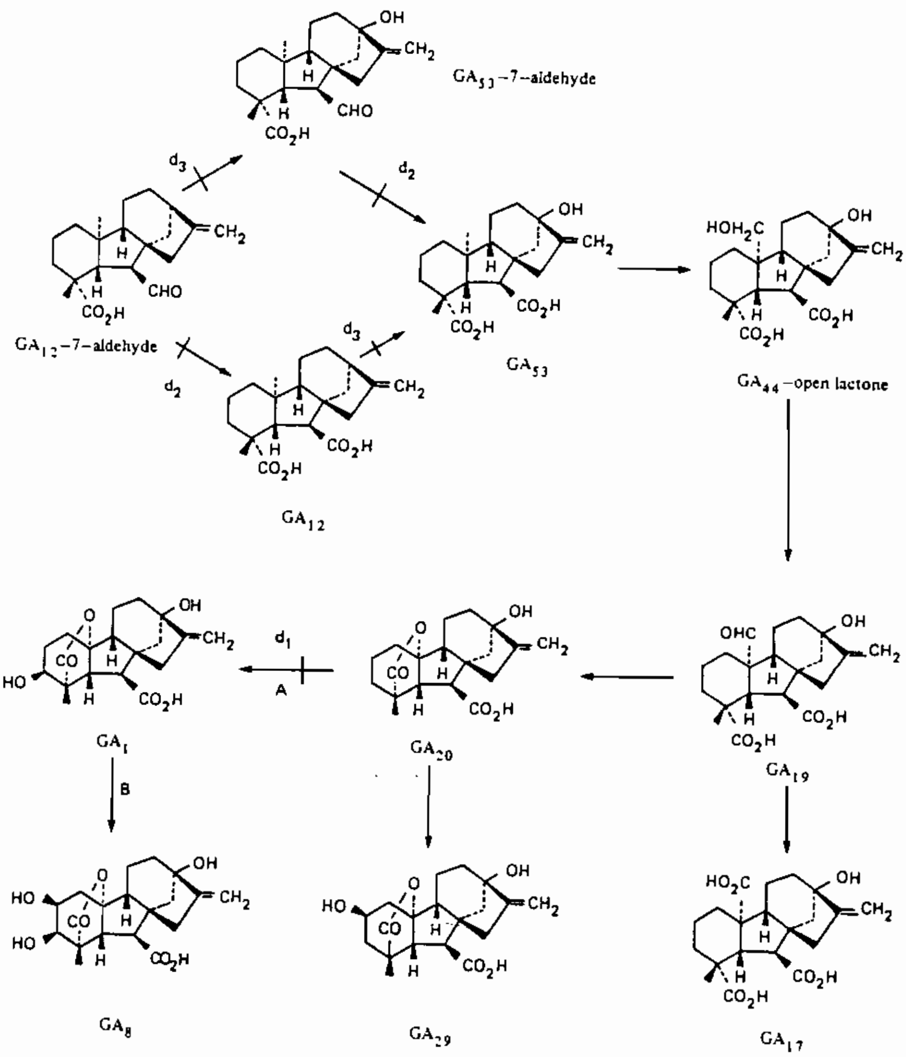


(**شكل ٩٧**) : تحول جبريللين ١٢ إلى الجبريللينات الأخرى في بذور البسلة.

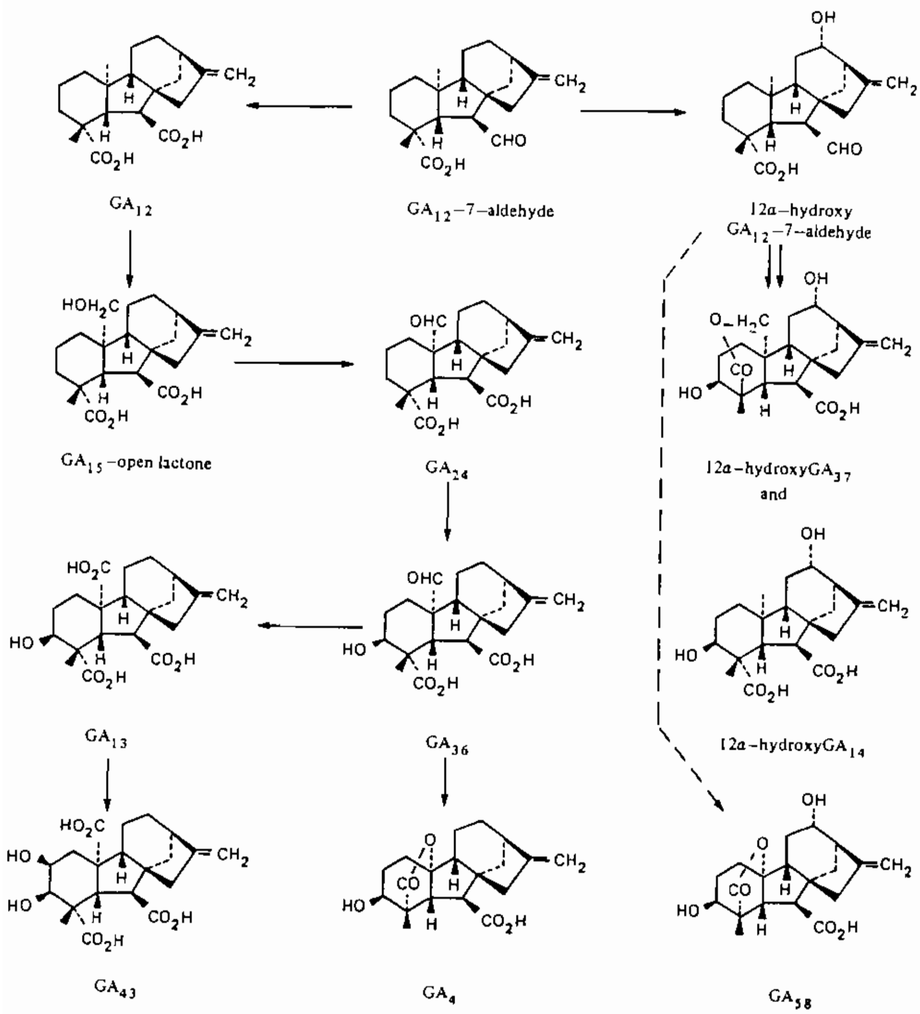


(شكل ٩٨) : خطوات تحول جبريللين ١٢ فى بذور الفاصوليا.

أمكن إثبات هذه الدورة وذلك بإستعمال خلات مشعة بواسطة ك[١٤] وحامض mevalonic حيث تم تنمية الفطر السابق على بيئة تحتوى هذين المركبين فقد نتج عن ذلك تكوين جبريللين مشع وذلك يثبت أن المركبين السابقين يدخلان فى عملية تخليق الجبريللينات. نفس النتيجة عند وضع كاورين مشع بواسطة ك[١٤] فى بيئة الفطر ويوضح ذلك أن الكاورين مركب وسطى فى تخليق الجبريللينات. أمكن أيضاً إستخلاص بعض الأنزيمات من بذور نباتات البسلة و *Cucurbita pepo* و*Echinocystis* لها دور فى عمليه تخليق الجبريللينات.



(شكل ٩٩) : خطوات تحول جبريللين ٥٣ إلى الجبريللينات المختلفة فى الذرة والسبانخ.
d1,d2,d3 طفرات فى جين واحد single gene mutants



(شكل ١٠٠) : خطوات تحول جبريليين ١٢ إلى الجبريللينات الأخرى في بذور *Cucurbita maxima* . خطوات التحول في الخط المتقطع إفتراضية حيث لم يكن إثباتها بالرغم من وجود جبريللين ٥٨ في البذور.

تشترك جميع الجبريللينات فيما يأتى :

١ ـ لها هيكل gibbane

٢ ـ حامضية التأثير. جميع الجبريللينات ذات التسعة عشر ذرة كربون لها مجموعة كربوكسيل واحدة وتوجد دائماً على ذرة الكربون رقم ٧. وفى حالة الجبريللينات ذات العشرون ذرة كربون ولها مجموعة كربوكسيل أو أكثر فإن هذه المجاميع توجد على ذرة الكربون رقم ٤ و ٧ و ١٠.

٣ ـ يختلف عدد مجاميع الإيدروكسيد فى الجزيىء وأيضاً موقعها . بعض الجبريللينات بها مجموعة إيدروكسيد واحدة والبعض الآخر خال من هذه المجموعة. عند وجود هذه المجموعة تكون فى ذرة الكربون ٣ أو ١٣ ، وفى حالة جبريللينات الفطر فإنها توجد فى الموقع ٣ وفى حالة جبريللينات النباتات الزهرية فإنها توجد فى الموقع ١٣ .

٤ ـ تعتبر الحلقة A غير مشبعة أى بها روابط مزدوجة. تختلف درجة عدم التشبع من مركب إلى آخر.

يوجد بعض الأستثناءات القليلة فى الجبريللينات لما سبق ذكره فى رقم ٢و٣و٤ .

المركبات الشبيهة بالجبريللينات

: Gibberellinlike activity compounds

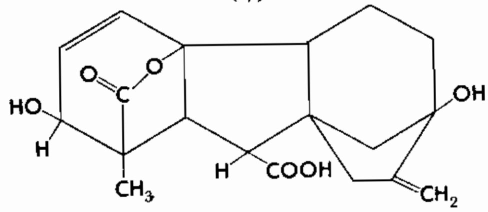
هى مركبات لها نشاط حيوى يشابه الجبريللينات أى تشابه الجبريللينات فى تأثيرها على النبات وهى مركبات عديدة وتختلف فى تركيبها الجزيئى (شكل ١٠١) .ومنها ما يأتى:

١ ـ Helminthosporol

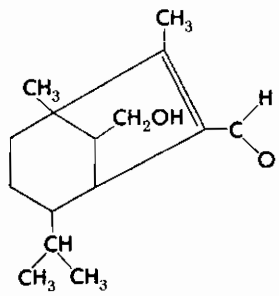
وهو مركب يوجد فى صورة كحول ويوجد أيضاً helminthosporic acid وهو يوجد فى صورة حامضية (شكل ١٠١). يتم إستخلاصه من راشح فطر

Helminthosporium sativum. يعتبر هذا المركب فعال فى بعض صفات الجبريللين حيث أنه يسبب تحليل إندوسبرم حبوب الشعير ويشجع نمو وإستطالة السلالات القزمية فى الأرز. ولكنه غير قادر على عمل ذلك فى سلالات الذرة القزمية، وبذلك يختلف أيضاً عن الجبريللين.

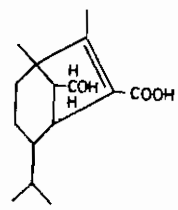
(١)



(٢)



(٣)



(شكل ١٠١): التركيب الجزيئي لحامض الجبريلليك (١) ومركب helminthosporol(٢) وحامض helminthosporic(٣) .

٢ ـ Phaseolic acid

يستخرج حامض الفاصوليك من بذور جنس الفاصوليا *Phaseolus*. يشجع نمو وإستطالة السلالات القزمية من الذرة والبسلة كما أنه يسبب تحليل النشا فى إندوسبرم حبوب الشعير.

٣ ـ Ecdysone

وهو عبارة عن هورمون من مجموعة steroids يوجد فى الحشرات وهو ينظم عملية الأنسلاخ فى الحشرات. يسبب نمو وأستطالة السلالات القزمية فى الذرة.

٤ ـ Steviol

مركب يستخلص من نبات *Stevia rebaudiana* ويظهر نشاط مشابه للجبريللين. يعتقد أن هذا المركب غير فعال ولكن فاعليتة لسهولة تحوله فى النباتات المختلفة بواسطة الأنزيمات إلى مركبات الجبريللين ومن هنا تثبت فاعليته.

أنواع الجبريللينات:

يوجد أنواع عديدة من الجبريللينات وقد تم التعرف على تركيبها الجزئيى وشكلها الجزيئى وذلك بأستخدام أجهزة معينة تستخدم طرق طبيعية physical methods مثل NMR, mass spectrometry ، أشعة X. تركيب هيكل gibbane معقد ولم يتمكن أحد من تخليقه حتى الآن، ولذلك فإن جميع الجبريللينات الناتجة تكون طبيعية ناتجة من عمليات التحول الغذائى للنبات أو الفطر، ولذلك فإن جميع الجبريللينات طبيعية natural ولا يوجد جبريللينات تركيبيه كما هو الحال فى الأوكسينات والسيتوكينينات. وإنتاج الجبريللينات على نطاق تجارى يكون من مزارع فطر الفيوزاريوم *Gibberella*. وعامة يعتبر جبريللين٣ أى حامض الجبريلليك و هو المنتشر تجارياً وأيضاً جبريللين مخلوط من ٤ و ٧ أى ٤+٧ هى نواتج فى مزارع الفطر السابق.

وقد وجد أن الجبريللينات تختلف فيما بينها أساساً فى الروابط المزدوجة من حيث عددها ومكانها وأيضاً من حيث عدد مجموعات COOH ومكانها وأيضاً مجاميع CO_2H من حيث عددها ومكانها وأيضاً مجموعة الأيدروكسيد كما سبق ذكره.

من أهم مركبات الجبريللين المستعملة فى الاغراض الزراعية هو مركب GA3 والذى يسمى باسم حامض الجبريلليك Gibberellic acid حيث انتاج هذا الحامض

يكون بكمية كبيرة وتكاليفه قليلة نسبياً وبذلك انتاجه بكميات كبيرة تفى بحاجه الاغراض التجارية وهذا بالاضافة أيضا إلى أنه فعال كمركب جبريلليني. ولكن حديثاً أمكن استخدام بعض من المخاليط من الجبريللينات لأغراض زراعية الا أن هذه المخاليط تكون مكلفة وباهظة التكاليف مثل مخلوط GA4 و GA7.

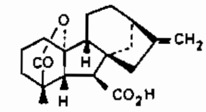
كما سبق القول، الجبريللينات المختلفة تختلف فى تأثيرها فقد وجد أن GA1 و GA3 و GA4 تسبب استطالة السويقة الجنينية السفلى لبادرات الخيار فى حين أن GA8 ليس له أى تأثير فى ذلك. ومثال لحالة أخرى أيضاً فقد وجد أن GA7 يساعد على الازهار لنبات *Silene* فى حين أن GA1 ليس له أى تأثير فى ذلك كما وجد أن جبريللين ٢ يسبب نمو مبيض زهره الطماطم وأن حامض الجبريلليك ضعيف فى ذلك.

يصعب أيضاً الحكم على تأثير جبريللين معين على عملية معينة فى النبات حيث أنه وكما سبق القول فإن هذه الجبريللينات قابلة للتحول من مركب إلى آخر فى داخل أنسجة النبات. وفى حالة الحكم على أن جبريللين غير فعال فى أداء وظيفة معينة فى فسيولوجى النبات فإن ذلك قد يكون نتيجة لعدم قدرة النبات على تحويله إلى جبريللين آخر نشط فسيولوجياً.

يمكن تصنيف الجبريللينات على أساس المجموعة الموجودة فيها (أشكال ١٠٢ ـ ١٠٥) .

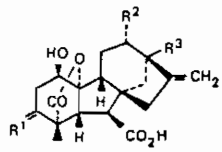
يمكن أن تتحول الجبريللينات من مركب إلى آخر ويختلف مسار التحول من نبات إلى آخر فهو يختلف فى الفطر *Gibberella* عنه فى بذور الفاصوليا عنه فى بذور البسلة عنه فى أندوسبرم *Cucurbita maxima* (أشكال ٩٥ ـ ١٠٠). يوجد أيضاً التركيب الجزيئى لأول ١٣ مركب جبريلليني تم أكتشافها (شكل ١٠٦).

I. Non-hydroxylated

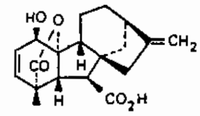


GA$_9$ (P,F)

II. 1β–Hydroxylated

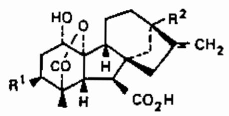


		R^1	R^2	R^3
GA$_{33}$	(P)	O	OH	H
GA$_{54}$	(P,F)	H,β–OH	H	H
GA$_{55}$	(P,F)	H,β–OH	H	OH
GA$_{60}$	(P)	H_2	H	OH
GA$_{61}$	(P)	H_2	H	H



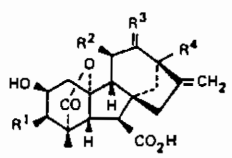
GA$_{62}$ (P)

III. 1α–Hydroxylated



		R^1	R^2
GA$_{16}$	(P,F)	OH	H
GA$_{57}$	(F)	OH	OH

IV. 2β–Hydroxylated



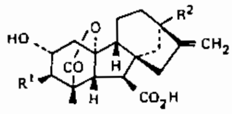
		R^1	R^2	R^3	R^4
GA$_{51}$	(P)	H	H	H_2	H
GA$_{29}$	(P)	H	H	H_2	OH
GA$_{34}$	(P)	OH	H	H_2	H
GA$_8$	(P)	OH	H	H_2	OH
GA$_{48}$	(P)	OH	H	H,β–OH	H
GA$_{49}$	(P)	OH	H	H,α–OH	H
GA$_{50}$	(P)	OH	OH	H_2	H
GA$_{26}$	(P)	OH	H	O	H

(شكل ٢٠١) : التركيب الجزئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة ويلاحظ أيضاً أن الذرة رقم ١ و٢ مختلفان.

F = توجد بالفطريات.

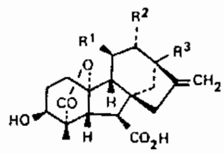
p = توجد بالنباتات الزهرية.

V. 2α–Hydroxylation

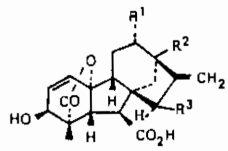


		R^1	R^2
GA_{40}	(F)	H	H
GA_{47}	(F)	OH	H
GA_{56}	(F)	OH	OH

VI. 3β–Hydroxylated



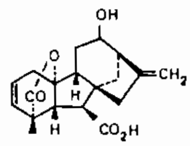
		R^1	R^2	R^3
GA_4	(P,F)	H	H	H
GA_{35}	(P)	OH	H	H
GA_1	(P,F)	H	H	OH
GA_{58}	(P)	H	OH	H



		R^1	R^2	R^3
GA_7	(P,F)	H	H	H
GA_3	(P,F)	H	OH	H
GA_{30}	(P)	OH	H	H
GA_{32}	(P)	OH	OH	OH

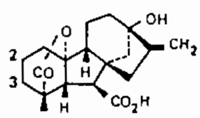
VII. 11β–Hydroxylation — في جميع مركبات VI. و IV

VIII. 12–Hydroxylation — في جميع مركبات VI و IV II



GA_{31} (P) عدا

IX. 13–Hydroxylation — في جميع مركبات VI و II



عدا

GA_{20} (P)

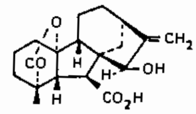
GA_5 (P) 2,3–double bond

(شكل ١٠٣) : التركيب الجزيئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة. ويلاحظ أن الذرات ٢و٣ و١١و١٢و١٣ مختلفة .

F = توجد في الفطريات.

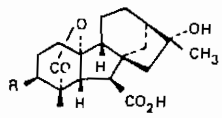
P = توجد في النباتات الزهرية.

X. 15β–Hydroxylation, included in Groups II and VI — في جميع مركبات



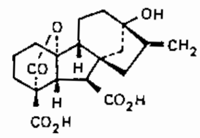
GA_{45} (P) — عدا

XI. 16α–Hydroxylated

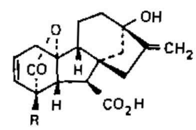


	R
GA_{10} (F)	H
GA_{2} (F)	OH

XII. 18–Oxygenation

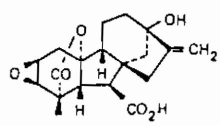


GA_{21} (P)

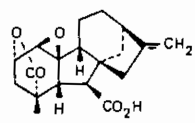


	R
GA_{22} (P)	CH_2OH
GA_{59} (P)	CO_2H

XIII. Epoxides



GA_{6} (P)



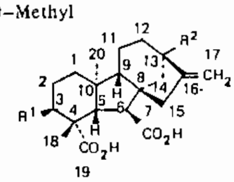
GA_{11} (F)

(شكل ١٠٤): التركيب الجزيئي لجبريللينات ١٩ ذرة كربون مختلفة ويلاحظ أن الذرات ١٦ و ١٨ مختلفة.

F = توجد في الفطريات.

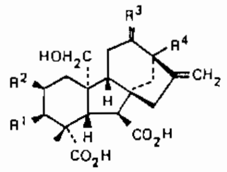
P = توجد في النباتات الزهرية.

I. 10–Methyl



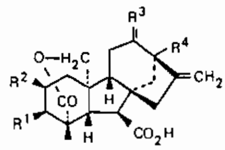
		R^1	R^2
GA_{12}	(F,P)	H	H
GA_{14}	(F)	OH	H
GA_{53}	(P)	H	OH
GA_{18}	(P)	OH	OH

II. 10–Hydroxymethyl

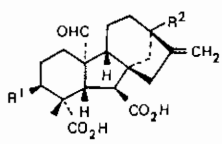


		R^1	R^2	R^3	R^4
GA_{15}	(F,P)	H	H	H_2	H
GA_{37}	(F,P)	OH	H	H_2	H
GA_{44}	(P)	H	H	H_2	OH
GA_{38}	(P)	OH	H	H_2	OH
GA_{27}	(P)	OH	OH	H_2	H
GA_{52}	(P)	OH	OH	H,α–OH	OH

isolated as

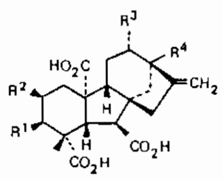


III. 10–Aldehyde



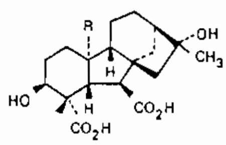
		R^1	R^2
GA_{24}	(F,P)	H	H
GA_{36}	(P)	OH	H
GA_{19}	(P)	H	OH
GA_{23}	(P)	OH	OH

IV. 10–Carboxylic acid



		R^1	R^2	R^3	R^4
GA_{25}	(F,P)	H	H	H	H
GA_{13}	(F,P)	OH	H	H	H
GA_{46}	(P)	H	OH	H	H
GA_{17}	(P)	H	H	H	OH
GA_{43}	(P)	OH	OH	H	H
GA_{39}	(P)	OH	H	OH	H
GA_{28}		OH	H	H	OH

V. 16–Hydroxylated

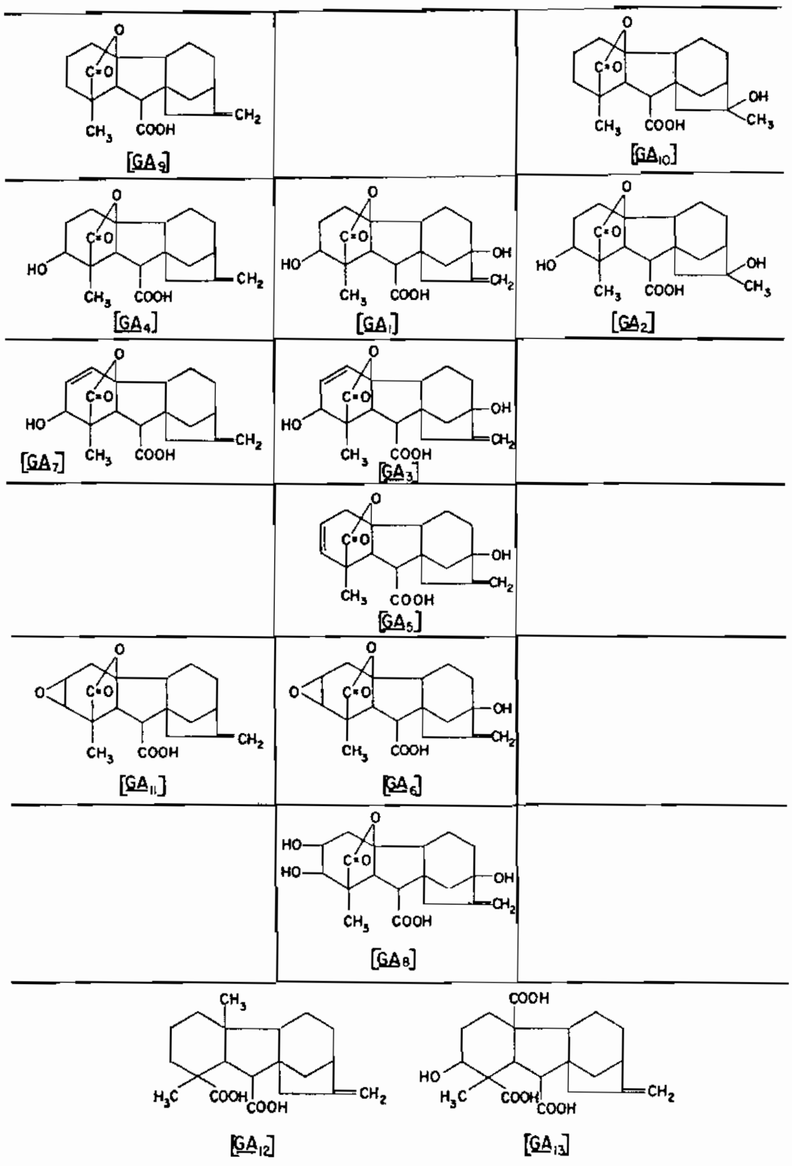


		R
GA_{41}	(F)	CO_2H
GA_{42}	(F)	CH_3

(شكل ٥-١٠): التركيب الجزيئي لجبريللينات ٢٠ ذره كربون مختلفة. ويلاحظ أن الذرة رقم ١٠ تختلف من المجموعة وأيضاً الذره رقم ١٦ .

F = توجد بالفطريات.

P = توجد بالنباتات الزهرية.



(شكل ٦-١٠) : التركيب الجزيئي لأول ثلاثة عشر مركب جبريللين تم أكتشافهم.

الصفوف تتشابه في الحلقة A والأعمدة تتشابه في الأحلال علي ذرتي الكربون رقم ٧ ، ٨ في هيكل gibbane.

أماكن تخليق الجبريللينات فى النباتات:

تخلق الجبريللينات فى أماكن عديدة أهمها القمم النامية للسيقان والاوراق الصغيرة جدا leaf primordia التى تغطى القمم النامية كما تتكون أيضاً بكميات كبيرة نسبياً فى البذور أثناء تكوينها فى الجنين والفلقات. كما تتكون فى الثمار أثناء تكوينها وكبرها فى الحجم. كما تخلق أيضاً فى الجذور وقد وجد أن افرازات الجذور يمكن أن تحتوى على جبريللينات وفى بعض الحالات وجد أن تركيز الجبريللينات فى أفرازات الجذور تكون كافية تماماً لنمو جميع أجزاء النبات.

أمكن إثبات تخليق الجبريللينات فى القمم النامية لساق عباد الشمس بواسطة طريقة الأنتشار فى طبقة الآجار. حيث أن تركيز الجبريللينات يقل كلما إبتعدنا عن القمة النامية. كما يعتقد أن الأوراق الصغيرة فى القمم النامية هى مكان تخليق الجبريللينات وليست النسيج المرستيمى للقمة.

انتقال الجبريللينات:

الجبريللينات ممكن أن تنتقل فى أى اتجاه أى أنها لا تظهر خاصية الانتقال القطبى بمعنى أنها تنتقل من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى وذلك بعكس الاوكسينات. كما وجد أيضاً أنها تنتقل فى كل من نسيج اللحاء والخشب. يمكن أن تنتقل جانبياً من اللحاء إلى الخشب والعكس، ولذلك فإنها تعتبر منظمات نمو جهازية وعلى العكس تماماً من الأوكسينات. وقد أمكن إثبات ما سبق بإستعمال حامض جبريلليك مشع ك^{14} فى نباتات الذرة الشامية والصفصاف.

كيفية هدم أو التخلص من تأثير الجبريللينات:

من المعروف أن الجبريللينات عند وجودها بتركيزات كبيرة نسبياً لا تؤثر تأثير ضار على النباتات بينما العكس صحيح فى حالة الأوكسينات وكذلك نجد أن سرعة تحول مركبات معينة مثل IAA المعاملة بها النباتات تكون كبيرة وينتهى تأثيرها أو مفعولها فى النبات بعد وقت قليل نسبياً بينما فى حالة الجبريللينات فأنه يستمر

تأثيرها وفاعليتها لمدة أطول بكثير بالمقارنة بمركبات الأندول الاوكسينية. ومن المعروف أنه توجد تفاعلات عديدة تقلل من تأثير وتركيز وفاعلية مركبات الاندول الأوكسينية كما سبق ذكره ولكن هذه التفاعلات غير واضحة أو ملموسة فى الجبريللينات حيث أن زيادة التركيز للجبريللينات إلى حد كبير نسبياً لا يؤثر تأثير ضار على النبات ولكن من المعروف أن الجبريللينات ترتبط مع أنواع من السكريات فقد ترتبط مع الجلوكوز. إرتباط السكريات مع الجبريللينات ينتج عنها مركبات تعرف باسم glycosides فمن المعروف أن الجبريللين يرتبط بالجلوكوز ليكون gibberel- lin - glucoside . تسمى عملية الأرتباط بالتزاوج conjugation وتكون النتيجة أن الجبريللين يصبح غير نشط فسيولوجياً وتسمى inactivation فى هذه الحالة. وهذه الطريقة من الطرق التى يحدث فيها التحام بين الجبريللين والجلوكوز وبذلك يحدث عملية تثبيط لتأثير Inactivation الجبريللين.

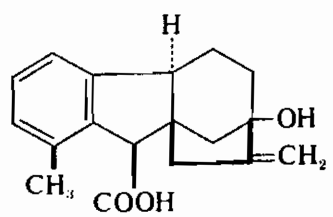
تتحلل الجبريللينات فى المحلول فى وجود بيئة قلويه أو حامضية عاليه أو pH2 وخاصة مع درجات الحرارة العالية ١٠٠ مئويه إلى ثلاثة مركبات وهى:

١ ـ Gibbericacid

٢ ـ Allogibbericacid

٣ ـ Gibberellenicacid

المركب الأول عديم الفاعلية فى نشاطه كمركب جبريلليني أما المركبين الآخرين فأن لهما نشاط ضعيف كمركبات جبريللينية (شكل ١٠٧) .



(شكل ١٠٧) : التركيب الجزيئي لمركب allogibberic acid

مما سبق يتضح أن طرق هدم أو تثبيط إندول حامض الخليك فى النبات كثيره وواضحة والأكثر حدوثا ونتيجة لذلك يمكن التخلص بسرعة من التأثير الزائد من إندول حامض الخليك، ولكن هذه الحالة لا تحدث بوضوح تام فى الجبريللينات حيث أن الزيادة النسبية فى تركيز هذه المركبات يمكن أن يتحملها النبات دون وجود تأثير ضار، ولكن لا يعنى أنه لا يوجد فى النبات طريقة أو طرق يمكن بها التحكم فى تركيز الجبريللينات بل أنه وكما سبق القول تحدث بطرق عديدة وهى:

١ ـ عملية الأرتباط conjugation بين جزيىء سكر جلوكوز والجبريللين ليتكون جلوكسيد الجبريللين. يعتبر المركب الأخير غير نشط فسيولوجياً وبذلك يقل تركيز الجبريللين ولذلك تسمى هذه العملية أيضاً بعدم التنشيط inactivation حيث أن الجبريللين يتحول من مركب نشط فسيولوجياً إلى مركب غير نشط. يوجد نوعين فى حالة الجلوكوز وهما GA1 glucosylester و GA29 gluco-syl ether (شكل ١٠٨).

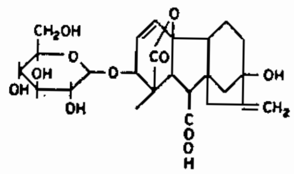
٢ ـ يمكن أن يرتبط الجبريللين مع البروتينات فى بعض الحالات وبذلك يصبح أيضاً مقيد bound وغير نشط فسيولوجياً أى يحدث له عدم تنشيط inactivation.

٣ ـ تكوين مشتقات الجبريللين derivatives مثل alkyl esters ومنها n-propyl esters GA1, GA3 وmethyl ester GA17.

٤ ـ يمكن أن يتحول الجبريللين النشط إلى مركب جبريللين آخر غير نشط وبذلك يقل تأثيره وهذه حالة شائعة الحدوث فى الجبريللينات حيث أن بعض منها يمكن أن يتحول إلى الآخر inerconversion يجب توضيح أنه لا يوجد جبريللين غير نشط بل المقصود أنه نشط فى تفاعل معين ولكنه يكون خامل فى تفاعل أو تأثير معين آخر.

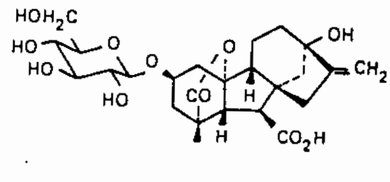
٥ ـ تحلل الجبريللين وخاصة حامض الجبريلليك فى البيئة الحامضية وخاصة فى درجة الحرارة العالية إلى مركبات منخفضة أو عديمة التأثير فسيولوجياً وكما سبق ذكره.

جلوكسيد حامض الجبريلليك

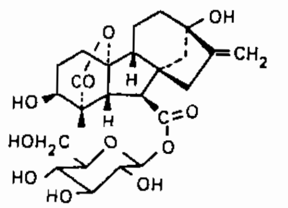


GA$_1$ 3–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_3$ 3–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_8$ 2–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_{26}$ 2–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_{27}$ 2–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_{29}$ 2–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether
GA$_{35}$ 11–*O*–β–D–Glucopyranosyl ether

GA$_1$ β–D–Glucopyranosyl ester
GA$_4$ β–D–Glucopyranosyl ester
GA$_9$ β–D–Glucopyranosyl ester
GA$_{37}$ β–D–Glucopyranosyl ester
GA$_{38}$ β–D–Glucopyranosyl ester



GA$_{29}$ 2–*O*–β–D– glucosyl ether



GA$_1$ β–D–glucosyl ester

(**شكل ١٠٨**) : conjugates للجبريللين مع الجلوكوز في النباتات الزهرية.

يتضح مما سبق أن للنبات طرق كثيرة يمكن بها التحكم فى تقليل تركز الجبريللينات فى حالة زيادة تركيزها ولكن وللمرة الأخيرة فإن هذه الطرق لا تحدث بنفس السرعة أى أقل فى معدل حدوثها بالمقارنة فى حالة إندول حامض الخليك.

مدى إنتشار الجبريللينات فى النباتات المختلفة:

توجد الجبريللينات فى البكتريا والفطريات والطحالب والنباتات الحزازية والسرخسية وعاريات البذور وكاسيات البذور أى النباتات الزهرية. توجد فى نباتات ذوات الفلقة

وذوات الفلقتين. يوجد الآن عدد لا يقل عن ٦٢ جبريللين مختلف . تسمى الجبريللينات بإسم جبريللين١ أو جبريللين ٢ ، وجبريللين ٣ (حامض الجبريلليك) وجبريللين ٤ وهكذا حتى رقم ٦٢ . ترجع الأرقام إلى أسبقية التعرف على تركيبها حيث أن جميع هذه الجبريللينات لم تكتشف فى وقت واحد بل أنه نتيجة لتقدم طرق الفصل والتحليل الكيماوى فإنه تكتشف تدريجياً أنواع جديدة. ولذلك فالجبريللين رقم ٥ على سبيل المثال أكتشف أو أمكن التعرف على وجوده قبل جبريللين ٢٣ مثلا. وهكذا فإن كل جبريللين جديد يكتشف يأخذ رقم يلى رقم آخر مركب تم أكتشافه من الجبريللينات. لا يوجد نبات يحتوى على جميع الجبريللينات. يوجد كثير من النباتات تحتوى على أكثر من جبريللين فى آن واحد. توجد بعض الجبريللينات فى الفطريات فقط مثل جبريللين٢٤ وجبريللين٢٥ ولا توجد فى النباتات الزهرية إطلاقاً، والعكس صحيح حيث أن جبريللين ١٧ وجبريللين ٢٣ لا يتواجدان إلا فى النباتات الزهرية فقط دون الفطريات. بعض الجبريللينات تتواجد فى النباتات الراقية والفطريات مثل جبريللين١ وجبريللين ٤ . يوضح الجدول التالى مدى وجـود الجبريللينات المختلفة فـى النباتات المختلفة (جدول ٤) .

(**جدول ٤**) : الأنواع المختلفة من الجبريللينات الموجودة فى النباتات المختلفة

النبات أو الفطر	أنواع الجبريللينات
Gibberella fujikuroi	جبريللين ١ حتى جبريللين ٤ والجبريللينات ١٦،٩،٧
Althaea rosea الخطمية	جبريللين ١ و جبريللين٢ وجبريللين٣
Calonyction aculeatum	جبريللينات ٣٤،٣٣،٣١،٣٠ .
Echinocystis macrocarpa	جبريللينات ١ ، ٧
Lupinus luteus	جبريللينات ٢٨،٢٣،١٨
التفاح	جبريلينات ٣ ، ٤ ، ٧

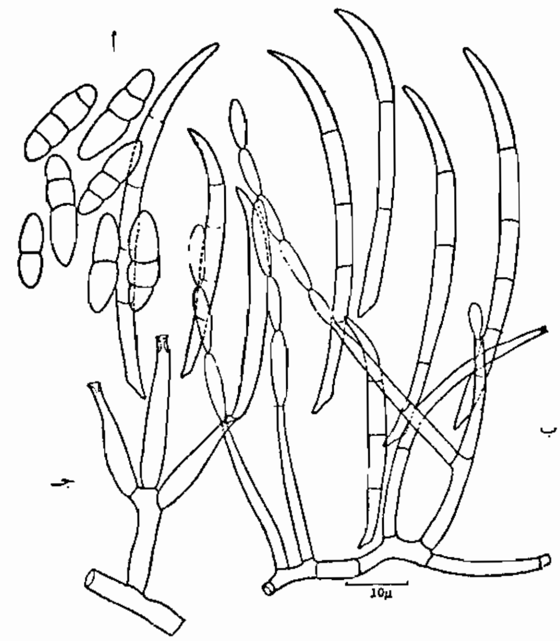
توجد الجبريللينات فى جميع أجزاء النبات، ولكنها تختلف فى تركيزاتها فى الأجزاء المختلفة حيث تكون عالية التركيز فى مناطق تخليق الجبريللينات والأجزاء القريبة منها ويقل التركيز كلما إبتعدنا عن هذه المناطق. تعتبر البذور أثناء تكوينها وأيضاً البذور غير الناضجة مركز لتكوين الجبريللينات. تستعمل البذور الغير الناضجة لنباتات الخروع والخيار البرى و*Phaseolus coccineus* و *Pharbitis nil* كمصدر لعزل وأستخلاص الجبريللينات. وجد أنه يمكن إستخلاص خمسة ملليجرام من جبريللين ١ لكل كيلو جرام وزن غض من البذور الغير ناضجة لنبات *P. coccineus* وعلاوة على ذلك فإن هذه البذور الغير ناضجة لهذا النبات تحتوى على تسعة جبريللينات أخرى علاوة على جبريللين ١. لا تحتوى البذور الناضجة على جبريللينات عادة. أثناء نضج البذور يقل تركيز الجبريللين الحر ويزداد تركيز جلوكوسيد الجبريللين. أثناء إنبات البذور يحدث تحليل لجلوكوسيد الجبريللين ويتكون الجبريللين الحر.

نبذة عن فطر *Gibberella fujikuroi*:

يمكن تسمية بعض الفطريات بأسمين ومثال ذلك الفطريات الأسكية والتى يتبعها هذا الفطر. تتميز الفطريات الأسكية بوجود كيس أسكى بداخله ثمانية جراثيم أسكية وفى حالة الفطريات التى تسمى بإسمين يكون أحدهما للطور الناقص والأسم الآخر للطور الكامل. يسمى الطور الناقص للفطر لأنه لا يكون أجسام ثمرية أى لا يتكاثر جنسياً ويتكاثر لا جنسياً ولذلك يسمى هذا الفطر *Fusarium moniliforme* وحيث أنه يكون جراثيم كونيدية أثناء التكاثر اللاجنسى ، ولكن يمكن لهذا الفطر فى ظروف بيئية معينة أن يتكاثر علاوة على ذلك جنسياً لتتكون أجسام ثمرية أسكية من نوع perithecium وبداخل هذه الأجسام الثمرية توجد أكياس أسكية بداخلها جراثيم أسكية وتعتبر الأكياس الأسكية هى نتيجة حدوث التزواج الجنسى ودليل على وجود الطور الكامل للفطر . ومثال لذلك أن هذا الفطر لا يكون إطلاقاً فى مصر الطور الكامل أى الجنسى ولذلك يسمى بإسم الطور الناقص *F. moniliforme*. ولكن فى اليابان ودول أخرى يمكن أن يحدث التكاثر الجنسى لهذا الفطر

ويتكون الطور الكامل والأكياس الأسكية ولذلك يسمى بإسم الطور الكامل *Gibbe-rella fujikuroi* وذلك طبعاً بالأضافة إلى الطور الناقص.

فى حالة الطور الناقص تكون الهيفات حوامل كونيدية بسيطة قائمة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة microconidia. وكل جرثومة كونيدية صغيرة شفافة وحيدة الخلية متطاولة (شكل ١٠٩). كما تتكون أيضاً حوامل كونيدية فى مجاميع وكل مجموعة تتكون من عديد من الحوامل الكونيدية المتزاحمة متراصة أو ملاصقة لبعضها البعض وقد تكون ملتحمة مع بعضها، وتحمل هذه الحوامل جراثيم كونيدية كبيرة macroconidia (شكل ١٠٩).



(شكل ١٠٩): أنواع الجراثيم المختلفة لفطر
Fusarium moniliforme (Gibberella fujikuroi)

أ ــ جراثيم أسكية.
ب ــ حوامل كونيدية صغيرة وكل حامل يحمل سلسلة من الجراثيم الكونيدية الصغيرة.
جـ ــ حوامل كونيدية كبيرة تحمل جراثيم كونيدية كبيرة.

الجراثيم الكونيدية الكبيرة متطاولة أو هلالية الشكل عديدة الخلايا أى أكثر من خليتين. وفى حالة الطور الكامل يحدث التزاوج وتتكون أجسام ثمرية أسكية من نوع perithecium (شكل ١١٠) كروية إلى مخروطية الشكل لونها أزرق غامق قطرها حوالى ٢٥٠ ميكرون يوجد بداخلها أكياس أسكية صولجانية الشكل تقريباً. وبداخل كل كيس أسكى من ٤ ـ ٨ جراثيم أسكية. الجراثيم الأسكية شفافة عديمة اللون متطاولة أهليجية الشكل تقريباً مقسمة إلى خليتين عادة وقد تكون ثلاثة أو أربعة خلايا . لا يتكون الطور الكامل فى مصر.



(**شكل ١١٠**) : قطاع طولى فى جسم ثمرى لفطر *Gibberella fujikuroi* به أكياس أسكية وجراثيم أسكية.

يعيش الفطر فى التربة على المواد العضوية على هيئة هيفات رقيقة شفافة مقسمه إلى خلايا وتعيش معيشة رمية فى التربة. ويتجرثم بكثرة ويكون جراثيم كونيدية صغيرة وكبيرة. يمكن للفطر أن يصيب عدد كبير من النباتات فى الحقل ويصبح طفيلى ويسبب أمراض لهذه النباتات ومن أمثلة ذلك مرض البادرة الحمقاء فى الأرز ومرض العفن الوردى لحبوب الذرة الشامية.

كما وجد المؤلف أنه يسبب مرض التبقع البنى لأغماد أوراق الذره الشاميه وهذا المرض عام الأنتشار فى جميع حقول الذره الشاميه فى مصر.

وفى التجارب التى قام بها Kurosawa فأنه قام بتنمية الفطر على بيئة سائلة فى المعمل مثل بيئة البطاطس والدكستروز potato dextrose أو بيئة تشابك Czapekثم قام بترشيح الفطر للحصول على راشح الفطر. ثم قام بتعقيم الراشح فى مرشح مناسب مثل مرشح زيتس Seitz. أخذ هذا الراشح الفطرى المعقم الخالى من جراثيم الفطر وهيفاته وعامل به نباتات الأرز فنتج عن ذلك نباتات طويلة . تثبت هذه التجربة أن الفطر يفرز مركبات تسبب أستطالة نبات الأرز وهى عباره عن الجبريللينات.

مثبطات الجبريللينات:

يوجد مركبان من ثنائى التربينويد diterpenoid موجودان بصفه طبيعيه فى النباتات وهما epiallogibberellic acid و atractyligenin يثبطا نشاط حامض الجبريلليك وغير معروف حتى الأن ميكانيكيه التثبيط.

تأثيرات معوقات النمو (مضادات الجبريللينات) :

توجد مركبات كثيرة تسمى growth retardants أى معوقات النمو كما تسمى أحيانا بالـ antigibberellins أى مضادات الجبريللينات، وقد وجد أن بعض من هذه المركبات مثل Amo - 1618 ومركب CCC ومركب phosphon أنها تمنع تحولgeranyl geranyl pyrophosphate إلى مركب الكاورين kaurine ولهذه المركبات تأثيرات مختلفة أهمها مايأتى:

١ ـ فى حالة نباتات العائلة النجيلية وعند التسميد الازوتى الغزير فأن هذه النباتات تستطيل لدرجة كبيرة مما ينتج عنه ضعف وطراوة فى أنسجة الساق ولذلك يحدث لهذه السيقان ميل وسقوط أى رقاد وتصبح عديمة القيمة الأقتصادية وعملية السقوط أى الرقاد تسمى lodging وقد أمكن التغلب على هذه الظاهرة بمعاملة النباتات بمركب CCC وهو يمنع عملية الرقاد فى المحاصيل النجيلية حيث أنه يسبب قصر أو إعتدال فى طول النبات وبالتالى متانة نسبية لجدر خلايا الساق وبالتالى لا تحدث حالة الرقاد ويعتبر القمح نبات مثال لذلك.

٢ ـ بعض أنواع من نباتات الزينة مثل أنواع الكريزانثيمم والليلى lilies وبنت القنصل يمكن أن تستطيل لدرجة كبيرة ولكن من المرغوب فيه من الناحية الاقتصادية لهذه الازهار أن يكون طول الساق بين ٣٠ ـ ٤٥ سم فمعاملة هذه النباتات بأحد هذه المركبات والمسمى A - Rest يسبب قصر فى طول الساق دون أن يؤثر على الأزهار. تعتبر هذه النباتات القصيرة ذات قيمة تنسيقية كبيرة حيث تناسب وضعها فى الفازات. تعامل أوراق النبات أو التربة بهذا المركب وهو يؤثر على طول النبات دون حجم الأزهار. ترش الأوراق أو يخلط بالتربة.

٣ ـ بعض مضادات الجبريللينات لها تأثير جيد على نضج الثمار ومن أحد هذه الامثلة مركب Alar وهذا المركب تعامل به ثمار الكريز فيتكون اللون بطريقة أحسن ويعطى نضج بطريقة أحسن وتصبح الثمرة أكثر صلابة وبذلك تحسن من صفات ثمار الكريز الناتج. يسهل نضج الثمار المتماثل عملية جمع الكريز فى وقت قصير أى مده محدوده. أتضح أن هذا المركب مسبب للسرطان ويمنع أستعماله.

٤ ـ استعمال بعض مضادات الجبريللينات فى الأشجار الموجودة على الطرق لتقصير طول الفروع الجانبية مع عدم التأثير على عدد الأوراق أو حجمها. يفيد ذلك كثيراً حيث أنها لا تحتاج إلى عمليات التقليم، وهذا يحدث فى الخارج حيث أن تكاليف العمالة مرتفعة. حيث ترش النباتات عند بدء نشاط البراعم وقبل تفتحها وقبل حدوث استطالة ملحوظة فى الساق فأن الفرع الناتج يكوَن قصير ويحمل نفس العدد من الأوراق فلا تحتاج إلى إجراء عملية التقليم. عملية التقليم وخاصة الأشجار النامية على جوانب الطرق تحتاج إلى مجهود كبير بالأضافة إلى أنها باهظة التكاليف فى كثير من الدول وخاصه المتقدمة.

مما سبق يتضح أنه توجد مركبات معوقات للنمو كثيرة وهى تعتبر أيضاً منظمات للنمو حيث أنه وكما سبق تعريف منظمات النمو growth regulators أنها مركبات تؤثر على نمو النباتات سواء بزيادة الطول أو زيادة النمو أو حتى التأثير العكسى بتقليل الطول أو تقليل النمو. يفضل تسمية هذه المركبات بمعوقات النمو growth retar-dants عن مضادات الجبريللينات.

طرق الكشف عن الجبريللينات:

تنقسم الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين وهى طرق حيوية وطرق كيماوية.

أولاً : الطرق الحيوية Bioassay

تستخدم فى هذه الطرق الأنسجة أو الأجزاء أو الأعضاء النباتية للكشف عن وجود الجبريللينات وأيضاً لتقدير تركيزها ومن هذه الطرق ما يأتى:

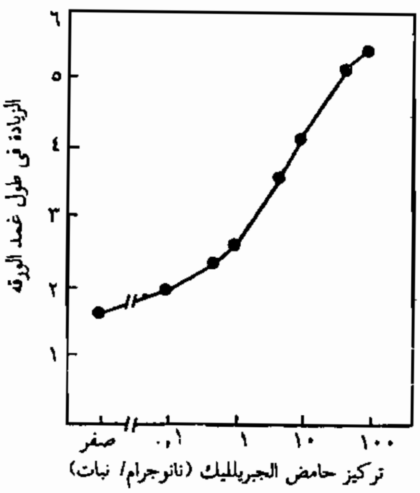
١ ـ إختبار الذرة القزمية Dwarf maize test:

سلالات الذرة القزمية المستخدمة فى هذه التجارب تتميز بأنها عبارة عن طفرة من جين واحد single gene mutant بالمقارنة بالسلالات العادية. تعتبر طفره فى عدم القدرة على تخليق الجبريللين وحيث يتوقف تحويل copalyl pyrophosphate إلى الكاورين. معاملة النباتات القزمية بالجبريللين تزيد من طول الساق وأيضاً تزيد طول غمد الورقة. كلما زاد تركيز الجبريللينات كلما زاد طول الساق.

يتم نقع حبوب الذرة القزمية فى الماء لمدة يوم ثم تزرع فى أصص فخارية أو صناديق خشبية ويتم تعبئتها بالرمل أو الفرميكيوليت vermiculite. يتم زراعة البذور فى التربة فى سطور. حيث أن صفة التقزم يتحكم فيها جين واحد متنحى فإن حوالى ٢٥٪ فقط من البادرات متقزمة والباقى عادية. بعد ٥ ـ ٦ أيام يصبح طول البادرات القزمية حوالى ٢ ـ ٣ سم وبذلك تصبح صالحة لأجراء التجربة. فى هذه المرحلة أيضاً يمكن تمييز البادرات القزمية عن البادرات العادية بسهولة وتكون الورقة الأولى أو الثانية مطوية على هيئة قمع فى قمة البادرات القزمية.

يضاف لهذا الشكل القمعى فى قمة النبات مائة ميكرولتر من حامض الجبريلليك أو المحلول المختبر مع توين ٢٠ tween 20 كمركب مبلل. بعد أسبوع من هذه المعاملة يتم قياس طول غمد الورقة الأولى والثانية. توجد علاقة عبارة عن خط مستقيم بين لوغاريتم الزيادة فى الطول ولوغاريتم تركيز الجبريللينات. يمكن التعرف

على تركيز الجبريللينات فى المحلول المختبر المجهول التركيز من المنحنى القياسى -stan dard curve والمقدر على أساس تركيز ات مختلفه معلومة من حامض الجبريلليك. يمكن أستعمال صنف أرز قزمى فى ذلك مثل Tan - Ginbozu بدلا من الذرة القزمية والمنحنى القياسى نتيجة لمعاملة نبات الأرز بحامض الجبريلليك يوضح أن الزيادة فى الطول تتناسب طردياً مع تركيز حامض الجبريلليك (شكل ١١١).



(**شكل ١١١**) : العلاقة بين تركيز حامض الجبريلليك والزيادة في طول غمد الورقة.

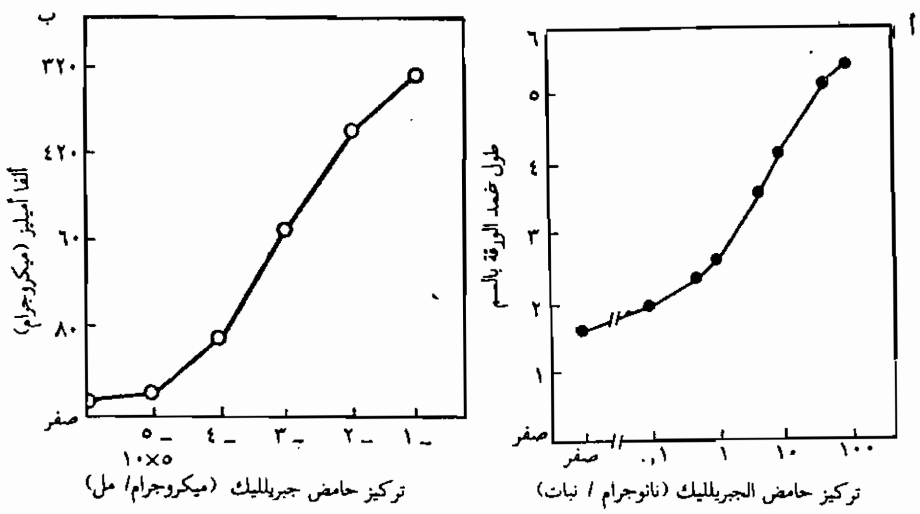
تعتبر هذه الطريقة مرهقة وتحتاج إلى وقت طويل نسبياً والأهم من ذلك أن حساسيتها منخفضة ولذلك يفضل أستعمال طريقة إختبار أندوسبرم الشعير عن هذه الطريقة.

يمكن أيضاً أستخدام غمد الورقة للنباتات النجيلية القزمية بدلاً من الساق فى هذا الأختبار (شكل ١١٢) يمكن أستخدام نباتات الفاصوليا القزمية فى الأختبارات الوصفيه.

٢ - إختبار أندوسبرم الشعير Barley endosperm test:

(طريقة تقدير السكريات المختزلة reducing sugars)

يتم إجراء هذا الأختبار على بعض من الحبوب النجيلية ولكن يفضل دائماً أستعمال حبوب الشعير تستخدم أصناف معينة من الشعير تكون عديمة الغلاف huskless varieties. يمكن أستخدام أصناف ذات غلاف وفى هذه الحالة يتم أزالة الغلاف بمعاملة الحبوب بحامض كبريتيك مركز ثم غسيل الحبوب جيداً بالماء لأزالة أى آثار من حامض الكبريتيك. يعتبر الصنف هيمالايا Himalaya من الأصناف المستعملة بكثرة فى هذا الأختبار، والفكرة فى هذا الأختبار يكن تلخيصها فيما يلى:



(**شكل ١١٢**) : تأثير تركيز حامض الجبريلليك علي طول غمد الورقة.

أ ـ تأثير تركيز حامض الجبريلليك علي طول غمد الورقة.

ب ـ تأثير تركيز حامض الجبريلليك علي تكوين أنزيم ألفا أميليز في خلايا أليرون الشعير.

من المعروف أن الحبوب فى نباتات العائلة النجيلية تحتوى على نشا مختزن بكمية كبيرة ومن المعروف أنه عند نقع الحبة فى الماء فأنه يحدث تنبيه وانبات وفى هذه

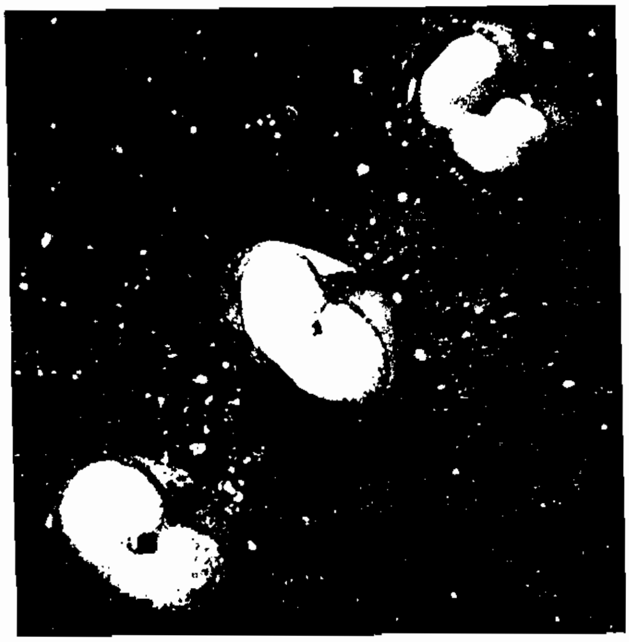
الاثناء يتحلل النشا المختزن فى نسيج اندوسبرم الحبة. ولكن وجد أنه عند أزالة جنين الحبة ثم غمرها فى الماء لم يحدث أى تحليل للنشا فى الحبة، ولكن عندما أزيل الجنين وعوملت الحبة المنزوعة الجنين بماء يحتوى على مركب جبريللين فقد حدث تحليل للنشا فى عدم وجود الجنين.

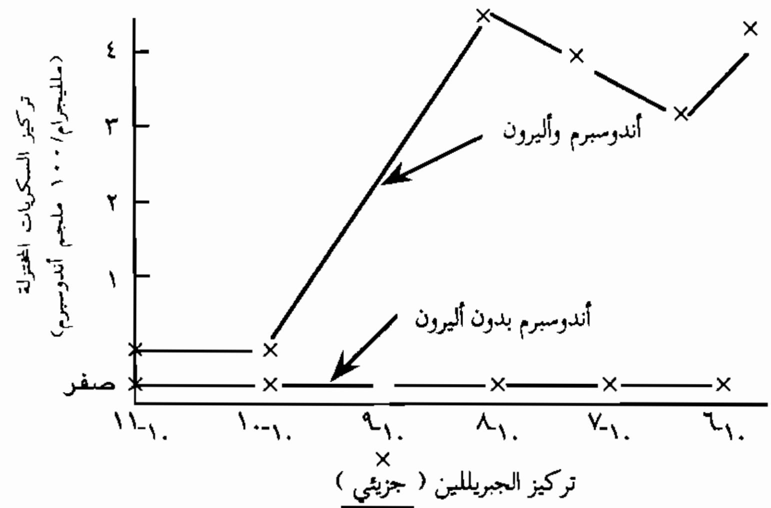
ومن التجربة السابقة ثبت أن الجزء الوحيد فى الحبة القادر على افراز الجبريللين هو الجنين وقد وجد أن الجبريللين يفرز من الجنين بعد تخليقه وينتقل إلى طبقة الاليرون وفى طبقة الاليرون تتكون إنزيمات عديدة للتحليل المائى وأهم إنزيم مدروس هو أنزيم amylase الذى يقوم بتحليل النشا إلى مواد كربوهيدراتية قليلة التسكر أو سكريات ثم ينتقل إنزيم الاميليز المخلق فى طبقة الاليرون إلى نسيج الاندوسبرم حيث يقوم بتحليل حبيبات النشا ونتيجة لذلك تتكون مركبات سكرية قابلة للذوبان فى الماء تنتقل إلى منطقة الجنين النشط لكى يحدث النمو. يتضح أيضا أن الجبريللين يسبب تخليق أنزيم ألفا أميليز فى خلايا طبقة الأليرون (شكل ١١٣).

وفى هذه الطريقة تستعمل حبوب شعير وينزع منها الجنين ثم تعامل الحبوب بالمركب المراد اختباره (الحبوب المنزوعة الجنين). وفى نهاية التجربة إذا وجد أن تركيز السكريات المختزلة أكبر من تركيزها فى حبوب المقارنة أى الغير معامله كان ذلك دليل على وجود الجبريللينات. ولتقدير التركيز يمكن تقدير تركيز السكريات المختزلة بأى طريقة مناسبة من الطرق الشائعة فى الكيمياء الحيوية (شكل ١١٣).

أما عن طريقة إجراء التجربة فهى كما يلى:

تعقم الحبوب سطحيا بغمرها فى محلول هيبوكلوريت الصوديوم ثم تغسل جيدا بالماء المقطر لأزالة أى آثار من هيبوكلوريت الصوديوم تزرع الحبوب فى رمل رطب معقم لمدة يوم. يتم تكسير الحبوب عرضيا إلى جزئين متساويين أى نصفين. يستبعد نصف الحبة المحتوى عى الجنين ويستعمل نصف الحبة الخال من الجنين يوضع فى كل دورق مخروطى صغير عشرة أنصاف مع محلول منظم خلات وكلوريد كالسيوم فى وجود pH ٤,٨ .





(شكل ١١٣) : تأثير حامض الجبريلليك علي نشا أنزيم الأميليز:

أعلى ـ ثلاثة أنصاف من حبة الشعير العلوية معاملة بتركيز من الجبريللين مائة جزء في البليون والوسطية معاملة بتركيز واحد جزء في المليون والسفلية معاملة بالماء (الصورة العلوية).

أسفل ـ تأثير حامض الجبريلليك علي نشاط أنزيم الأميليز.

يوضع فى الدورق كمية وتركيز معلوم من الجبريللين أو العينة المراد إختبارها. يوضع فى الدورق محلول من المضاد الحيوى كلورا مفينكول وذلك لمنع تلوث التجربة بالبكتريا. تجرى جميع خطوات التجربة فى ظروف معقمه. يكرر ذلك فى دوارق مخروطية مختلفة تحتوى على تركيزات مختلفة أو عينات مختلفة تبعا لعدد العينات. دورق المقارنة يحتوى على جبريللين أو العينة معقمة فى الأوتوكلاف حيث أن ذلك يسبب تحطيم الجبريلليين. يتم رج الدوارق المخروطية بإستمرار أثناء وضعها فى الحضان فى درجة حرارة ٢٥ْم لمدة أربعون ساعة. بعد ذلك يتم تقدير تركيز السكريات المختزلة فى كل دورق بإستعمال دليل سموجى Somogyi's reagent يتم قياس درجة تركيز اللون فى العينات بأستعمال جهاز spectrophotometerعند طول ٥٦٠ نانومتر. يتناسب تركيز اللون طرديا مع تركيز السكريات المختزلة فى العينات وأيضاً يتناسب طرديا مع تركيز الجبريللين. كلما زاد تركيز السكريات المختزلة فى العينات كلما زاد تركيز الجبريللينات فيها فى مدى تركيز الجبريللينات بين ١٠ $^{-٥}$ إلى ١٠ $^{-١}$ ميكروجرام / مل. يمكن فى هذه الطريقة عمل منحنى قياسى لتركيزات حامض الجبريليك مع تركيزات السكر المختلفة (شكل ١١٣) أو مع تركيز أنزيم ألفا أميليز (شكل ١١٢).

٣ ـ البسلة القزمية Dwarf Pea:

ويستعمل محلولا من الجبريلين حيث تعامل به البادرات ويتسبب ذلك فى تشجيع استطاله الساق ـ وقياس طول السويقة الجنينية العلياepicotyl بعد خمسة أيام من بدأ الاختبار وهذا الاختبار حساس لكمية من الجبريلين فى حدود واحد نانو جرام.

٤ ـ السويقة الجنينية السفلى للخس Lettuce hypocotyl:

وفى هذا الاختبار ـ توضع البادرة بالكامل فى محلول من حمض الجبريليك لمدة ٢ ـ ٣ يوم ـ وتؤخذ استطالة السويقة الجنينية السفلى كدليل على الاستجابة لحمض الجبريليك ـ والكمية الصغيرى من حمض الجبريليك الممكن اكتشافها فى هذا الاختبار تكون فى حدود ١, .نانو جرام.

٥ ـ ورقة الشوفان *Avena* leaf

تحضن القطع الورقية لمدة ثلاثة أيام ثم تقاس الزيادة فى الطول والكمية الصغرى الممكن اكتشافها فى هذا الاختبار تكون فى حدود واحد نانو جرام.

٦ ـ نبات الحميض *Rumex* leaf:

إذا حضنت أقراص أو قطع أوراق الحميض فى محلول من الجبريلين فإنها تحتفظ بالكلورفيل بكميات معنوية مدة أطول من معاملة المقارنة (الكنترول) ـ وفترة هذا الاختبار الحيوى تستمر تقريباً لمدة خمسة أيام ـ وتكشف عن كميات من حمض الجبريليك GA3 فى حدود ٢, نانو جرام.

ولقد حور البحاث هذة الاختبارات الحيوية باستعمال خامات نباتية مختلفة ـ والاستجابات الرئيسية والأساسية المذكورة لكل اختبار حيوى تستعمل بصفة عامة لاكتشاف الجبريلينات فى المستخلصات النباتية ـ وعلى الرغم من أن الباحثين قيموا وجود النشاط الجبريلينى فى المستخلصات النباتية باستعمال الاختبارات الحيوية ـ إلا أن التحليل الكيمائى والخصائص التركيبية الكيمائية للمركبات الموجودة قد قدرت أيضاً بتعريض المستخلصات إلى التحليل الكروماتو جرافى الغازى gas chromatogra-phy ـ وإلى طرق مشتركة بين التحليل الكروماتو جرافى الغازى ومطياف الكتلة -mass spectroscopy كذلك طرق التحليل الكروماتو جرافى السائل تحت ضغط عالى high pressure liquid chromatography وطرق أخرى.

ثانيا: الطرق الكيماوية.

وفى هذه الطرق يلزم إستخلاص الجبريلينات بواسطة كحول الميثيل أو الأسيتون أو محلول مخفف من أحدهما. يتم تبخير المذيب تحت تفريغ أى ضغط منخفض. ضبط درجة pH حتى تصبح ٢,٥ ثم تعاد عمله الأستخلاص بواسطة خلات الإيثيل ethyl acetate ثم بعد ذلك بواسطة بيكربونات الصوديوم. يتم تبخير المذيب تحت تفريغ ويتبقى مخلوط الجبريلينات الغيرنقى أى به شوائب. يمكن فى هذه

الحالة التعرف على الجبريللين فى هذا المستخلص الغير نقى بواسطة gas chromatography يلزم فى هذه الحاله وجود chart خاصه قياسيه لأنواع الجبريللينات المختلفة reference spectra of gibberellins وخصائصها أثناء التحليل الكروماتوجرافى الغازى chromatographic behaviourوفى عدم توفر ذلك يلزم تنقية الجبريللين بدرجة كبيرة. يمكن تنقية الجبريللين أى العينة بواسطة adsorption chromatography بإستعمال عمود سيليت فحم حيوانى charcoal - celiteيدمص الجبريللين على مادة العمود. ثم يتم غسيل وإزالة elute الجبريللين بواسطة مخلوط من الماء والأسيتون. ثم يتم فصل الجبريللين بواسطة paper أو thin layerكروماتوجرافى. يرش chromatogram بواسطة مخلوط من حامض كبريتيك مركز وكحول الإيثيل ثم يوضع فى فرن درجة حرارته مائة وعشرون درجة مئوية لمدة عشرة دقائق. يفحص chromatogramبواسطة الأشعة الفوق بنفسجية وفى هذه الحالة تظهر الجبريللينات المختلفة مشعة نتيجة عمليه الفلوره flourescence ويكون لكل جبريللين لون أشعاع معين مميز. أى أن الجبريللينات تختلف فى ألوانها فى وجود الأشعة فوق البنفسجية.

يمكن إستخدام جبريللين قياسى standard فى حالة paper or thin layer chromatography ويقارن جبريللين العينة بهذا الجبريللين القياسى بواسطة Rf . من عيوب هذه الطريقة أن كثير من الجبريللينات لها Rf متماثل وبالتالى لا يمكن فصلها عن بعضها حتى فى حالة إستخدام مذيبات مختلفة.

يمكن إستخدام mass spectrometry, (GLC) gas liquid chromatography وتعتبر طريقة مثالية لتقدير تركيزات منخفضة جداً فى العينات غير النقية crude extract حوالى مائة ميكروجرام. يمكن أيضا تقدير تركيزات أقل من ذلك واحد ميكروجرام أو أقل. ويمكن معرفة نوع الجبريللين بواسطة mass spectra . وفى هذه الطريقة لا نحتاج إلى عينة نقية من الجبريللين للمقارنة. يمكن أيضا غسيل وإزالة elute الجبريللين من العمود وإختباره بالطرق الحيوية السابقة.

يمكن أيضا أستخدام طريقة radio-immunoassay (RIA) وقد سبق شرحها فى حالة الأوكسينات ويستخدم الجبريللين بدلا من الأوكسين حيث يتم تكوين أجسام مضادة antibodies بأرتباط الجبريللين مع ألبيومين مصل الدم serum albumin .

التأثيرات المختلفه للجبريللينات على النبات:

يمكن أن يكون للجبريللينات تأثيرات مختلفه على النبات وهو كمايلى:

١ - كمون وإنبات البذور Seed Dormancy:

يمكن أن تساعد معاملة بعض البذور بالجبريللين فى إنباتها. توجد حالات كثير لذلك. حيث أن بعض البذور تحتاج إلى فترة حرارة منخفضة من صفر إلى خمسة درجة مئوية وذلك لعدة أسابيع لكى يحدث الأنبات مثل التفاح والخوخ. تحدث هذه المعاملة طبيعيا حيث أن البذور تكون مدفونة فى التربة أثناء فصل الشتاء القارص البرودة ولذلك تنبت فى الربيع أو يمكن عمل ذلك للبذور صناعيا بتعريضها لدرجة حرارة منخفضة لعدة أسابيع وتسمى هذه العملية بالكمر البارد stratification. ويمكن عند معاملة البذور بالجبريلين فى هذه الحالة أن لا تحتاج البذور إلى درجة حرارة منخفضة أى أن الجبريلين يحل محل إحتياج البذور لدرجة الحرارة المنخفضة chilling requirements.

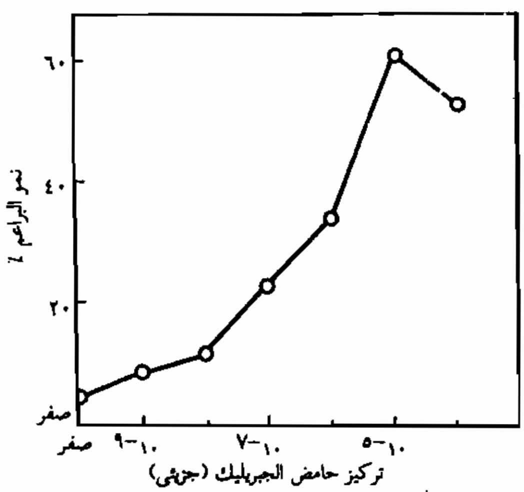
تحتاج بعض البذور إلى الضوء للإنبات ومثال ذلك بذور الخس صنف Grand Rapids. وجد أن الضوء الأحمر هو اللون الوحيد فى الضوء الذى يسبب الأنبات. وجد أيضا أن معاملة البذور باللون أو بالضوء الأحمر البعيد far red تسبب تثبيط إنبات البذور. ولذلك فإن تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد يسبب عدم إنبات البذور وعند تعريض البذور للضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد ثم الأحمر يسبب إنبات البذور وهكذا. يحدث فى هذه الأثناء تحول صبغة الفيتوكروم من نوع إلى آخر فعند تعريض البذور للضوء الأحمر يمتص الفيتوكروم هذا الضوء ويتحول من النوع Pr إلى النوع Pfr. حيث أن P هى إختصار لصبغة الفيتوكروم Phytochrome و r إختصار إلى الضوء الأحمر و fr إختصار للضوء الأحمر البعيد. ولذلك فإن النوع من

الفيتوكروم Pfr هو المسئول عن إنبات البذور. وجد أن معاملة هذه البذور بالجبريللين فى غياب الضوء العادى أو الضوء الأحمر يسبب الإنبات. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للضوء الأحمر. طول موجه الضوء الأحمر المؤثر فى هذه الحالة هو ٦٦٠ نانومتر.

تحتاج بعض البذور إلى الظلام للإنبات حيث أن الضوء يثبط الإنبات ومثال ذلك بذور نبات *Nemophila insignis* ونبات *Phacelia tanaecetifolia*. وجد أن معاملة البذور بالجبريللين يسبب الأنبات حتى فى وجود الضوء . أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البذور للظلام.

٢ - سكون البراعم Bud Dormancy:

يساعد الجبريللين على كسر سكون البراعم. تظل البراعم ساكنة فى درنات البطاطس بعد إقتلاعها وذلك لمدة عدة أسابيع. وفى أثناء هذه المدة يزداد تركيز الجبريللين كما تتكون أنواع أخرى من الجبريللينات. أى تزداد الجبريللينات كما ونوعا. عند معاملة الدرنات بالجبريللين فإنها تنبت بعد إقتلاعها مباشرة أو حتى وهى لازالت متصلة بالنبات. أى زيادة تركيز الجبريللينات يساعد على نمو البراعم وكسر السكون (شكل ١١٤).



(شكل ١١٤) : تأثير حامض الجبرلليك على كسر سكون براعم البطاطس.

معاملة براعم كثير من النباتات متساقطة الأوراق بالجبريللين تسبب كسر السكون ونمو البراعم كما فى *Betula* و *Acer* و *Fraxinus*. تحتاج هذه البراعم إلى درجة حرارة منخفضة جدا فى الشتاء لكى تنمو فى الربيع كما أنها تحتاج أيضا إلى نهار طويل لكى تنمو فى الربيع. معاملة البراعم بالجبريللين تسبب نموها وكسر طور السكون. أى أن الجبريللين يحل محل إحتياج البراعم لدرجة الحرارة المنخفضة والنهارالطويل.

٣ ـ نمو الساق Stem Growth **أى أستطالة الساق** Stem elongation

.تؤثر الجبريللينات على إستطالة الساق حيث أن النباتات المعاملة بالجبريللينات تصبح أكثر طولا. توجد بعض الخواص والمميزات لأستطالة النبات. فى هذه الحالة وهى

أ ـ إستطالة النبات نتيجة لزيادة سرعة إستطالة السلاميات دون التأثير على عددها. أى أن عدد العقد والسلاميات ثابت فى النباتات المعاملة والغير معاملة بالجبريللين والفرق الوحيد هو درجة إستطالة السلاميات. أى أن الجبريللين لا يؤثر على عدد السلاميات بل يؤثر على طولها.

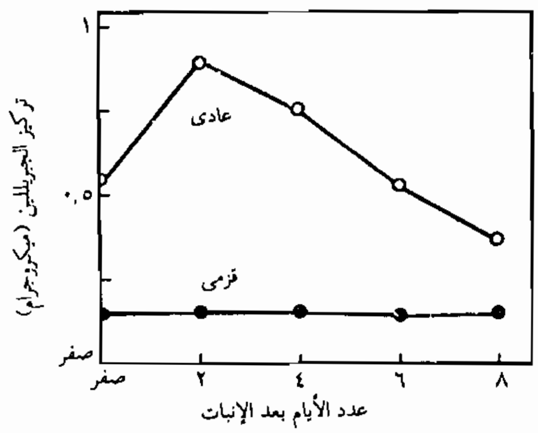
ب ـ إستطالة السلاميات نتيجة لأنقسام وأستطالة الخلايا وليست نتيجة لأستطالة الخلايا فقط.

حـ ـ تستجيب السلاميات الصغيرة السن younger internodes عن السلاميات الكبيرة السن old internodes لتأثير الجبريللين. أى أن درجة الأستجابة كبيرة فى الحالة الأولى.

د ـ تستجيب النباتات النامية فى الضوء لتأثير الجبريللين بدرجة أوضح عنه فى حالة النباتات النامية فى الظلام .

تستطيل النباتات نتيجة للمعاملة بالجبريللين وتكون أكثر وضوحا فى حالة النباتات القزمية genetic dwarfs والنباتات المتوردة rosette plants أى تكون فى نموها مشابهة لشكل الوردة والنباتات النامية فى الضوء الأحمر.

فى حالة النباتات القزمية فإنه فى حالة الذرة تكون نتيجه لوجود طفرة فى جين واحد تسبب عدم تكوين الجبريللين. ولذلك فإن معاملة هذه النباتات القزمية بالجبريللين تسبب إستطالة الساق وكلما زاد تركيز الجبريللين كلما زاد طول الساق. نفس القاعدة والحالة تنطبق فى حالة النباتات القزمية فى *Pharbitis* (شكل ١١٥).
تختلف بعض السلالات القزمية فى البسلة حيث أن تركيز الجبريللينات فيها يقارب تركيزها فى السلالات العادية الطول. ولكن معاملة هذه السلالات القزمية بالجبريللين يسبب زيادة طولها وتصبح فى طول النباتات العادية. وتعليل هذه الحالة أن الجبريللينات الموجودة فى السلالات القزمية تختلف عن الجبريللينات الموجودة فى الحالة العادية وأن الجبريللينات الموجودة فى السلالات القزمية غير مؤثرة فى الطول. أو تعليل آخر أن السلالات القزمية غير حساسة ولا تستجيب لأنواع الجبريللينات الموجودة بها. أو تعليل ثالث أنه توجد مثبطات لنمو الساق فى السلالات القزمية.



(**شكل ١١٥**): تركيز الجبريللينات في الأصناف الطويلة والقزمية والقصيرة لنبات *Pharbitis nil*.

فى حالة النباتات المتوردة وحيث أن الساق قصيرة تتقارب العقد وتقصر طول السلاميات ولذلك تتزاحم الأوراق ويأخذ النبات شكل الوردة. تحدث حالة التورد فى نباتات السكران *Hyoscyamus niger* ونبات *Samolus* فى وجود نهار قصير وعند تعريض هذه النباتات لنهار طويل فإن الساق يستطيل بسرعة ويصبح عادى الطول

وتسمى هذه الحالة الحنبطه bolting ويعقب ذلك الأزهار. وفى حالات أخرى يحدث التورد نتيجة لتعريض النبات لدرجة حرارة عالية مثل بعض أصناف الفجل والجزر والبنجر ثم تحدث إستطالة سريعة للساق ويصبح النبات عادى الطول أى bolt-ing وذلك عند تعريض النبات لدرجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة وقد يعقب ذلك الأزهار. معنى bolting أى أستطاله سريعة للساق.

جميع الحالات السابقة توضح أن للجبريللين دور كبير فى ذلك لما يأتى:

أ ـ تركيز الجبريللينات منخفض فى النباتات المتوردة وعند تعريض هذه النباتات للعامل المسبب لحدوث bolting مثل النهار الطويل أو درجة الحرارة المنخفضة فإن تركيز الجبريللينات يزداد ويلى ذلك مباشرة حدوث bolting.

ب ـ تفشل النباتات المتوردة فى إظهار حالة bolting عند معاملتها بمركبات معوقات النمو أى مضادات الجبريللينات مثل Amo 1618 وCCC وذلك فى وجود النهار الطويل أو درجة الحرارة المنخفضة.

حـ ـ تستجيب النباتات المتوردة للمعاملة بالجبريللين وتظهر حالة bolting حتى فى حالة الظروف البيئية الغير ملائمة مثل النهار القصير أو درجة الحرارة العالية.

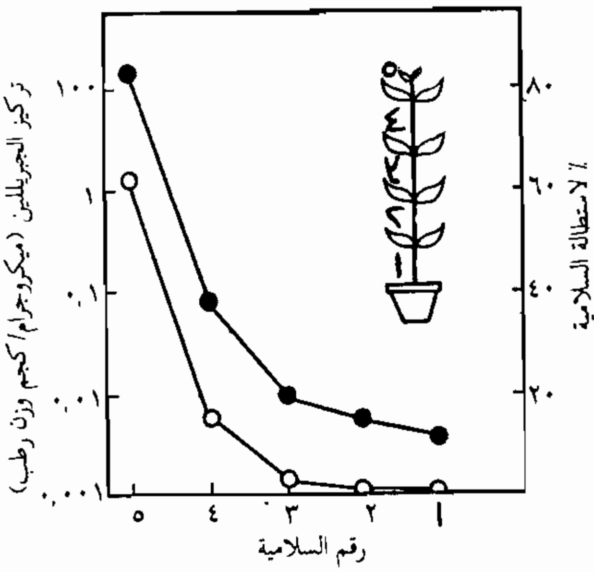
تعتبر النباتات المتوردة المذكورة سابقا ذات تركيز منخفض من الجبريللينات ولذلك تظهر حالة التورد. ولا تعتبر هذه حالة عامة لجميع النباتات حيث أنه على العكس من ذلك فإن كثير من النباتات تحتوى على تركيز مناسب من الجبريللينات لحدوث الأستطالة طبيعيا حتى إذا تعرضت هذه النباتات لظروف بيئية غير ملائمة مثل درجة الحرارة أو مده الإضاءة فإنها لا تكون نباتات متوردة إطلاقا ومثال لذلك نبات عباد الشمس حيث وجد أن تركيز الجبريللين يقل كلما أتجهنا إلى قاعدة النبات وأيضا درجة أستطالة السلاميات تقل كلما إتجهنا إلى قاعدة النبات. ومثال لذلك أن السلامية القمية رقم ٥ سرعة إستطالتها عالية وأيضا تركيز الجبريللين فيها عال

والعكس صحيح فى السلامية القاعدية رقم ١ . تنطبق نفس القاعدة على السلاميات الوسطية.

يلاحظ أنه يوجد تلازم وتطابق تام بين منحنى أستطالة سلاميات نبات عباد الشمس وأيضا تركيز الجبريللين (شكل ١١٦). تم تقدير تركيز الجبريللين فى السلاميات المختلفة بطريقة الانتشار فى طبقة الآجار أى أنه فى هذه الحالةهو تقدير لتركيز الجبريللين الحر وليست التركيز الكلى للجبريللين. ولذلك فإن هذه النباتات ومنها عباد الشمس لا تظهر صفة النباتات المتوردة إطلاقا لأحتوائها على تركيز كاف من الجبريللين. تسمى النباتات الأخيرة والتى لا تظهر حالة التورد caulescent plants والظاهرة caulescent habit.

يختلف تأثير الضوء الأحمر على النباتات القزمية حيث أن سلالات الذرة القزمية تحتفظ بصفة التقزم فى وجود الضوء العادى أى الأحمر والظلام والعكس صحيح فى حالة البسلة حيث أن السلالات القزمية والعادية تصبح متساوية الطول فى وجود الظلام والعكس صحيح فى حالة الضوء تسمى حالة البسله القزمية بالتقزم الفسيولوجى physiological dwarfness حيث أن التقزم لا يحدث إلا فى وجود الضوء وعلى وجه الخصوص الضوء الأحمر. ومن ذلك يتضح أن معاملة السلالات القزمية بالجبريللين يسبب إستطالتها وبذلك يضاد تأثير الضوء الأحمر فى حالة البسلة. لاتوجد فروق كميه أو نوعيه فى الجبريللينات فى بعض السلالات القزمية والعادية فى حالة البسلة فقط. تفسير حالة السلالات القزمية فى البسلة هو أن الساق ينتج مركبات مثبطة لنمو الساق فى وجود الضوء أو أن أنسجة الساق تصبح غير حساسة لوجود الجبريللينات فى وجود الضوء أى الضوء الأحمر.

ميكانيكية حدوث الأستطالة: يمكن تفسير حالة أستطالة الساق فى النباتات المتوردة مثل الجزر والفجل وحيث أن قمة النبات تتكون من ثلاثة أجزاء وهى جزء علوى يسمى المرستيم القمى apical meristem وجزء وسطى عبارة عن المرستيم تحت القمى subapical meristem وجزء قاعدى عبارة عن منطقة الأستطالة.



(شكل ١١٦): تركيز الجبريللين وأستطالة السلاميات المختلفة.

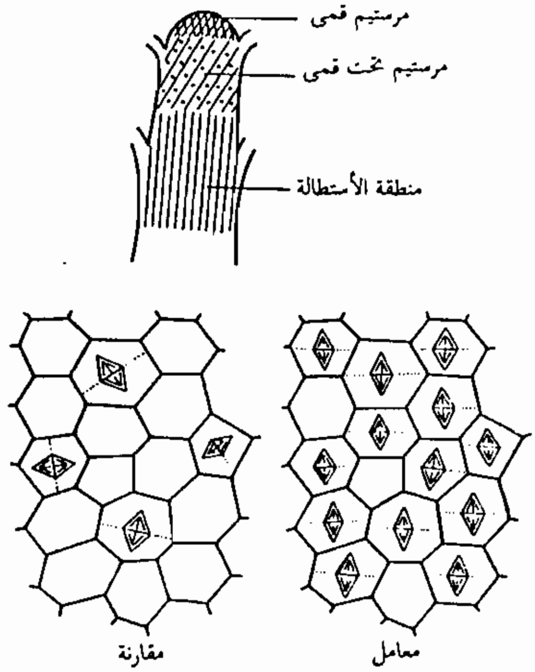
يكون المرستيم القمى الأوراق والبراعم والأزهار بينما المرستيم تحت القمى يتحكم فى أستطالة الساق. وفى حالة النباتات المتوردة فإن المرستيم القمى يكون الأوراق والبراعم والمرستيم تحت القمى يكون غير نشط وذو سرعة إنقسام منخفضة جدا حيث أنه يحتوى على قليل من الخلايا المنقسمة ونتيجة لذلك لا تحدث أستطالة الساق وتحدث حالة التورد. ولذلك فإن معاملة هذه النباتات بالجبريللينات أو تعريضها لظروف بيئية مناسبة تساعد فى سرعة تخليق الجبريللين وزيادة تركيزه وبذلك تحدث إستطالة لساق النبات ويصبح النبات عادى الطول. تكون الأستطالة فى هذه الحالة هى نتيجة زيادة تركيز الجبريللينات والتى تسبب سرعة إنقسام خلايا المرستيم تحت القمى والعكس صحيح فى منطقة المرستيم القمى حيث لا يوجد أى تأثير للجبريللينات على إنقسام خلاياه وذلك كما فى حالة نبات السكران *Hyoscyamus niger* ونبات *Samolus parviflorus* (جدول ٥).

(جدول ٥): تأثير المعاملة بحامض الجبرلليك على سرعة الأنقسام غير المباشر فى القمة النامية.

النبـــات	المرستيم القمي		المرستيم تحت القمي	
	غير معاملة	معامل	غير معاملة	معامل
Hyoscyamus niger	٩	٨	٢	٥٦
Samolus parviflorus	٨	٩	٢	٦٩

وجد أيضا أن الجبريللين يسبب تغيير فى مستوى إنقسام الخلايا plane of cell di-vision حيث أن الإنقسام يحدث فى أى مستو أو أى إتجاه فى الخلايا فى النباتات المتوردة أما فى حالة معاملتها بالجبريللين فإن مستوى الأنقسام يصبح واحد حيث أن خيوط المغزل تصبح فى الأتجاه الطولى للخلية ونتيجة لذلك فإن الخلايا المنقسمه تسبب زيادة فى الطول لأنها ستكون على هيئة عمود. أما فى حالة النباتات المتوردة العادية فإن الأنقسام يكون قليل وأيضا فى أى إتجاه مسببا زيادة فى السمك عنه زيادة فى الطول وذلك فى منطقة المرستيم تحت القمى (شكل ١١٧). يوضح ما سبق تأثير الجبريللين على إستطالة ساق النبات فى النباتات المتوردة.

يجب أيضا ذكر حقيقة هامة هو أن المعاملة بالجبريللينات لا تسبب إستطالة الخلايا إلا فى وجود الأوكسينات. ومن المعروف أيضا أن كل من الجبريللينات والأوكسينات يزداد تركيزها فى مناطق الأستطالة. تتميز السلاميات الصغيرة السن بأنها ذات سرعة إستطالة عالية ويرجع ذلك إلى أنها تحتوى على تركيزات عالية من كل من الأوكسينات والجبريللينات. كلما زاد عمر السلامية كلما قلت سرعة إستطالة أو درجة الأستطالة ويرجع ذلك أيضا إلى قلة تركيز كل من الأوكسينات والجبريللينات . يوجد تأثير تنشيطى كبير cumulative or synergistic عند وجود كل من الأوكسينات والجبريللينات مختلطتين حيث أن وجودهما معا لازم لأستطالة النبات. ولا تحدث الأستطالة العادية للنبات إلا فى وجود كلاهما متلازمين حيث أن تأثيرهما يكون كبير وذلك بالمقارنة بوجود أحدهما فقط.



(**شكل ١١٧**) : تأثير الجبريللين على أستطاله الخلايا.

أ ـ قطاع طولى فى قمة نامية لنبات.

ب ـ تأثير المعاملة بالجبريللين على إتجاه خيوط المغزل فى خلايا النبات وبالتالى على أتجاه الأنقسام لخلايا النبات.

٤ ـ نمو الجذور Root growth:

بالرغم من أن القمة النامية فى الجذور هى أحد الأماكن التى تخلق فيها الجبريللينات فإن معاملة الجذور بالجبريللين external application لا تؤثر ولا تنشط نمو الجذور بل أنها تثبط نمو الجذور. وقد وجد أن هذه المعاملة تسبب تثبيط سرعة إنقسام الخلايا وأستطالة الخلايا. يكون التأثير التثبيطى عام على الجذور السليمة والجذور المقطوعة أو أجزاء الجذور كما يحدث ذلك أيضا فى الضوء والظلام. تعليل ذلك غير معروف.

٥ ـ تكوين الجذور العرضية Adventitous Root Formation

تسبب معاملة العقل بالجبريللين تثبيط نمو وتكوين الجذور العرضية وهذه هى قاعدة عامة. ولكل قاعدة عامة شواذ حيث وجد أن عقل *Ipomoea* والبرايوفيللم *Bryophyllum* يتم تنشيط الجذور العرضية عليها بواسطة معاملتها بالجبريللين. وجد أن المعاملة بالجبريللين تثبط تكوين الجذور العرضية فى كثير من الحالات ومن أمثلة ذلك أن عقل نبات الصفصاف يتكون عليها مبادئ الجذور root primordia طبيعيا وعند معاملتها بالجبريللين فإنه يحدث تثبيط لهذه الجذور العرضية.

٦ ـ النمو الخضرى التى يعقبها الأزهار Juvenility

هى الفترة المبكرة فى عمر النبات والتى يعقبَها الأزهار حيث أنه عادة تفشل هذه الأجزاء للأستجابة للظروف البيئية المختلفة ويتوقف النمو الخضرى ويبدأ الأزهار تسمى هذه الفتره Juvenility وفى حالة الأنسان هى فترة الشباب. تختلف طول هذه الفترة بإختلاف النبات.

بعض النباتات يمكن أن تزهر وهى فى سن صغير جدا مثل *Pharbitis* و *Chenopodium* حيث أنها تزهر بعد الأنبات مباشرة ولذلك فإن فترة juvenile قصيرة جدا فى هذه الحالة وهى تتراوح بين ٢–٣ أيام. تطولْ فترة juvenility فى كثير من النباتات المعمرة الخشبية وهى تتراوح بين عدة أشهر إلى عديد من السنين. وجد فى حالة هذه النباتات Juvenility plants أى ذات مدة النمو الخضرى القصيرة والسريعة الأزهار أن القمم النامية لهذه النباتات وعلى وجه الخصوص المرستيم القمى ذات قدرة عالية على التحول من تكوين النمو الخضرى إلى تكوين الأزهار. أى أن المرستيم القمى فى القمم يكون الأزهار بسرعة بدلا من تكوين الأوراق. أما النباتات التى لا تزهر إلا بعد وقت طويل فقد وجد فى حالة نبات *Bryophyllum diagre-montianum* أن الأوراق وهى الأجزاء أو الأعضاء المتخصصة لاستقبال منشطات البيئة التى تشجع الأزهار leaves are the sites of perception of environmental stimulus for flowering غير قادرة على الاستقبال وعمل التنشيط اللازم للأزهار

أى أنها غير حساسة لذلك أو قليلة الحساسية أو بطيئة الحساسية ولذلك فإنها تحتاج إلى وقت طويل لكى تصبح حساسة وتستجيب لمؤثرات البيئة المنشطة للأزهار.

وجد أن المعاملة بالجبريللين تقلل من طول فترة juvenility. فى بعض الحالات تحتاج نباتات *Bryophyllum* إلى عامين للأزهار ولكن عند معاملة هذه النباتات بالجبريللين فإنها تزهر بعد ثلاثة شهور فقط. ومثال آخر لذلك من النباتات عاريات البذور وهو نوع من أنواع السرو *Cupressus arizonica* فإنه يكون المخاريط بعد أربعة سنوات وفى حالة المعاملة بالجبريللين فإنه يكونها بعد شهرين. توجد أمثلة كثيرة لذلك فى نباتات العائلتين Taxodiaceae و Cupressaceae وفى جميع هذه النباتات وجد أن تركيز الجبريللين المستعمل فى الأعمار الصغيرة كبير ويقل التركيز كلما زاد السن وتعليل ذلك أن الجبريللين فى الأعمار الصغيرة غير كاف وبالتقدم فى السن يزداد تخليق الجبريللين وبالتالى تحتاج النباتات المعاملة إلى كمية أقل من الجبريللين.

تأثير الجبريللين فى هذه الحالة غير عام على النباتات ففى بعض الحالات يحدث العكس حيث أن المعاملة تزيد من فترة juvenility ومثال ذلك نبات حبل المساكين *Hedera helix* وجنس البطاطا وأزهار الإيبوميا ومنها ست الحسن *Ipomoea* وجنس *Humulus*. أما عن كيفية تأثير الجبريللين فى ذلك فهو غير معروف. ولذلك عند إستعمال الجبريللين يجب المعرفة التامة بنوع النبات وقابليته للإستجابة وتشبه هذه الحالة معاملة العقل بالأوكسينات فإن أنواع معينة من النباتات هى التى تستجيب.

٧ - الأزهار Flowering:

يمكن تصنيف النباتات تبعا لأحتياجها للضوء إلى نباتات نهار طويل أو نهار قصير أو متعادلة كما يمكن تصنيف النباتات تبعا لاحتياجها لدرجة الحرارة المنخفضة إلى نباتات ذات الإرتباع أو عديم الأتباع .

وفيما يلى شرح لكل حالة وعلاقتها بالمعاملة بالجبريللين:

أ ـ نباتات نهار طويل لها قدرة على التورد Rosette Long-Day Plants : يمكن تصنيف هذه النباتات إلى نوعين نباتات لها القدرة على التورد rosette plants ونباتات ليس لها القدرة على التورد caulescent plants. تتميز المجموعة الأخيرة من النباتات أنها لا تستجيب للأزهار عند معاملتها بالجبريللين مثل الحريق *Urtica* والشعير وعباد الشمس أما المجموعة الأولى فإنها تظهر حالة التورد فى النهار القصير مثل السكران *Hyoscyamus niger* والكرنب و *Crepis* والسيلين *Silene* وعند تعريضها لنهار طويل تحدث إستطالة الساق bolting ويعقبها الأزهار. تفيد معاملة كثير من نباتات هذه المجموعة بالجبريللين حيث أنها تسبب لها أستطالة للساق وأحيانا الأزهار وذلك حتى فى وجود النهار القصير ومثال ذلك الخس والكرنب (شكل ١١٨) والسكران *Samolus parviflorus*. جميع الجبريللينات غير متماثلة التأثير فى ذلك فقد وجد أن بعض الجبريللينات تنتج أستطالة للساق bolting (الحنبطه) بينما البعض سبب الأزهار بينما البعض الآخر ليس له أى تأثير فى ذلك وعديم الفاعلية تماما.

ومثال ذلك حالة نبات السيلين حيث أن الجبريللين ٧ يسبب الأزهار بينما جميع الجبريللينات من رقم ١ إلى ٦ غير فعالة تماما فى أزهار هذا النبات . يعتبر الجبريللين هام فى أزهار هذه الحالات حيث أن تعريض النباتات لنهار طويل فإن تركيز الجبريللينات يزداد تدريجيا مع طول فترة الإضاءة مع إحتمال تكون أنواع جديدة من الجبريللينات فى هذه الفترة . ومن أمثلة ذلك أيضا أن بعض السلالات الوراثية من red clover *(Trifolium pratense)* عديمة الأزهار تماما تحت أى ظروف بيئية حيث أنها لا تحتوى جبريللينات بتركيز مناسب وعند معاملة هذه السلالات بالجبريللين فإن هذه النباتات تزهر. وقد تمكن الباحثون من فصل عملية الحنبطة boltingعن عملية الأزهار وذلك بالتحكم فى كمية الجبريللين المستعملة فإذا كانت جرعة الجبريللين المستعملة صغيرة فإن السيقان تستطيل bolting ولا تزهر النباتات وأذازادت الجرعه فإن النباتات تستطيل وتزهر (شكل ١١٨).



(شكل ١١٨) : تأثير المعاملة بالجبريللين على نباتات تحتاج نهار طويل .
تسبب المعامله بالجبريللين زياده طول الساق بدرجه كبيره (bolting) وأحيانا يتبع ذلك الأزهار فى نبات الكرنب.
نباتات معامله (يمين) وغير معامله (يسار) .

معاملة هذه النباتات مثل *Samolus parviflorus* بمعوقات النمو مثل Amo1618 وCCC يمنع إزهار هذه النباتات ويعتبر ذلك دليل على أهمية الجبريللينات فى أزهار النباتات فى هذه الحالة. يعتبر تركيز الجبريللينات اللازم لإزهار هذه النباتات هو التركيز الذى تكونه هذه النباتات بهد تعريضها لثمانية أيام نهار طويل .

ب ـ نباتات تحتاج لدرجة حرارة منخفضة Cold-requiring plants : تحتاج بعض النباتات لدرجة حرارة منخفضة تتراوح بين صفر إلى ٧ م لكى تزهر . وفى حالة عدم توفر درجات الحرارة المنخفضة فإن النباتات لا تزهر . يعتبر الشتاء القارص البرودة كاف لأزهار هذة النباتات وجد أن معاملة هذه النباتات بالجبريللين يسبب أزهارها فى حالة وجودها فى درجات حرارة مرتفعة .

تعتبر المعاملة بالجبريللين ودرجة الحرارة المنخفضة متماثلتين فى تأثيرهما على أزهار هذه النباتات ومن أمثلة هذه النباتات الجزر والبنجر والشيكوريا .

حـ ـ نباتات طويلة قصيرة النهار Long-Short Day Plants : معاملة هذه النباتات بالجبريللين تسبب الأزهار بعد فترة النهار القصيرة والعكس غير صحيح. أى أن المعاملة بالجبريللين تحل محل فترة النهار الطويل ولابد من وجود النهار القصير. ولا يمكن أن تقوم المعاملة بالجبريللين بتأثير النهار القصير . ولذلك فإنه فى حالة هذه النباتات لابد من تعريضها لنهار قصير والأستعاضة عن النهار الطويل بالمعاملة بالجبريللين ومن أمثلة هذه النباتات *Bryophyllum diagremontianum* .

د ـ نباتات قصيرة النهار Short-Day Plants: يمكن أن تسبب المعاملة بالجبريللين أزهار هذه النباتات مثل زينيا *Zinia elegans* والداليا و*Impatiens balsa-mina* . تركيز الجبريللينات فى هذه النباتات ليس له إتجاه محدد no consistent pattern . وجد أيضا أن معوقات النمو وهى CCC، Amo1618، B-Nine، phos-phon D تسبب تثبيط النمو الخضرى والأزهار فى هذه النباتات. وعامة فإن الجبريللينات غير فعالة فى أزهار هذه المجموعة من النباتات عدا بعض الحالات ومنها ما سبق ذكره.

٨ ـ تحديد ونوعية الجنس Sex Expression:

يزداد عدد الأزهار المذكرة ويقل عدد الأزهار المؤنثة نتيجة للمعاملة بالجبريللين فى الأزهار وحيدة الجنس وحيدة المسكن مثل الخيار و muskmelon و ridge gourd الخ. وفى النباتات ثنائية المسكن مثل القنب أى الماريجوانا وباللغة العامية الحشيش *Cannabis sativus* فإن النباتات المؤنثة تبدأ فى تكوين أزهار مذكرة بعد معاملتها بالجبريللين. وتنطبق نفس الحالة عند معاملة نبات السرو *Cupressus* بالجبريللين حيث يزداد عدد المخاريط المذكرة يمكن تعليل ذلك بأن الأزهار المذكرة تحتاج إلى تركيز من الجبريللين أكبر من الأزهار المؤنثة. حيث وجد أن تركيز الجبريللينات فى نباتات الخيار العادية والتى تنتج أزهار مذكرة ومؤنثة أكبر من تركيزة فى النباتات التى تنتج أزهار مؤنثة فقط . كما وجد أن حبوب لقاح النباتات غنية بالجبريللينات ومن أمثلة ذلك نبات البيتونيا *Petunia* و *Mirabilis*. يصل أعلى تركيز فى الجبريللينات فى حبوب اللقاح قبل تفتح الزهرة. ومصداقا لأهمية الجبريللين فى ذلك وجد أن معاملة مجموعة من نباتات القرعيات بمعوقات النمو مثل B-Nine و CCC تسبب تقليل عدد الأزهار المذكرة حيث أنها تثبط تكوين الجبريللينات. والعكس صحيح فى نباتات أخرى حيث وجد أن المعاملة بالجبريللين تزيد من الأزهار المؤنثة ومن أمثلة ذلك الذرة الشامية و castor bean .

ولذلك فإن تأثير الجبريللينات على تحديد نوعية الجنس لا يمكن تعميمه .

٩ ـ تكوين وتكشف الثمار والبذور Development of Fruits and Seeds

توجد الجبريللينات بكثرة فى الثمار والبذور أثناء تكوينها ومثال ذلك ثمار التفاح والخيار والقرعيات المختلفة وبذور البسلة و *Pharbitis*. يمكن القول أن تركيز الجبريللينات فى البذور غير الناضجة يزيد أضعاف المرات عن تركيزها فى الجذور أو السيقان أو الأوراق الكاملة النمو. ولذلك تستعمل البذور غير الناضجة كمصدر لعزل الجبريللينات . يزداد تركيز الجبريللينات أثناء تكوين البذور فى بعض النباتات مثل التفاح والبسلة والقمح الخ. يصبح تركيز الجبريللينات أعلى ما يمكن ثم يليه مباشرة

زيادة سرعة نمو البذور بدرجة أعلى ما يمكن . يزداد تركيز الجبريللينات فى الفلقات عنه فى القصره أو محور الجنين أى الريشة والجذير . يعتقد أن نقص تركيز الجبريللينات فى البذور الناضجة نتيجة لتحول الجبريللينات من الحالة الحرة إلى الحالة المرتبطه وذلك عن طريق تكوينها جبريللين glucoside وحيث أن هذا المركب الأخير غير فعال كهورمون لذلك يقل نشاط الجبريللينات. يمكن أن يعتبر مركب جلوكوسيد الجبريللين هو عبارة شكل تخرينى storage form للجبريللينات .

تعتبر أيضا البذور أثناء تكوينها وقبل النضج مراكز نشطة لتخليق الجبريللينات .

توجد أيضا تغيرات نوعية فى الجبريللينات فى أثناء تكوين البذور بالأضافة إلى التغيرات الكمية السابق وصفها . يتكون أثناء تكوين البذور فى نبات *Phaseolus coccineus* ثمانية أنواع مختلفة من الجبريللينات وتختفى تماما من البذور الناضجة . وفى أثناء الأنبات يتكون نوعين من الجبريللينات فى البادرة مختلفين تماما عن الثمانية أنواع الموجودة فى البذور غير الناضجة. يتضح من ذلك أيضا أن الجبريللينات يمكن أن تتحول من نوع إلى آخر interconverted فى البذور والبادرات . أمكن إثبات ذلك أيضا بواسطة مزارع الأنسجة حيث تم زراعة بذور غير ناضجة على بيئات صناعية فى المعمل وبمعاملة البيئة الصناعية بأحد معوقات النمو وهو Amo1618 فإن تركيز الجبريللينات فى هذه البذور قد إنخفض بدرجة كبيرة وقد صاحب ذلك أيضا بطء فى نمو البذور .

يحدث نمو جدار الثمرة نتيجة تأثير الجبريللينات على الثمار مثل الخوخ والبرتقال المعروف بإسم naval orange وغيرها. تحتوى عادة الأصناف البذرية على تركيز عال من الجبريللينات بالمقارنة بالأصناف عديمة البذور كما فى العنب. حيث أن أحد المناطق الرئيسية فى إنتاج الجبريللينات فى الثمار هى البذور . توجد أيضا علاقة مباشرة بين تركيز الجبريللينات فى الثمار أثناء تكوينها وسرعة و درجة نموها وذلك فى ثمار العنب والبرتقال. تحتوى الأصناف البذرية على ثمار عنب بذرية ذات تركيز عال من الجبريللينات بالمقارنة بالأصناف عديمة البذور. حيث أن ثمار الأصناف

عديمة البذور يتوقف نموها مبكرا بالمقارنة بالأصناف البذرية التى يستمر نمو ثمارها مدة أطول وذلك لقلة تركيز الجبريللينات فى الأصناف عديمة البذور . ولذلك فإن معاملة الأصناف عديمة البذور بالجبريللينات فإن الثمار تكبر فى حجمها بدرجة كبيرة ملحوظة مما يثبت أنها تحتاج إلى تركيز أعلى أو كمية إضافية من الجبريللينات. والعكس صحيح فى حالة أصناف العنب البذرية حيث أن معاملتها بالجبريللينات لا يؤثر على نموها إلا بدرجة محدودة جدا.

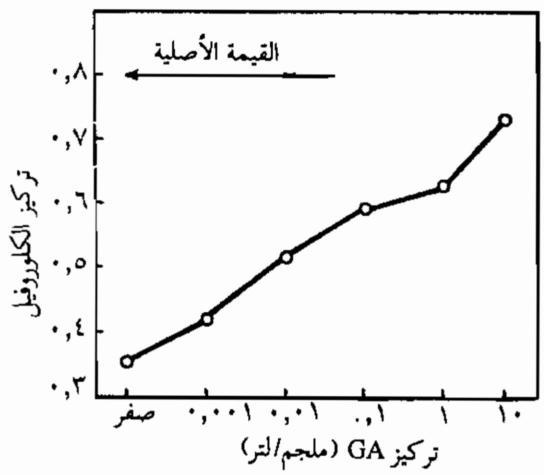
ومن ذلك يتضح أن الأصناف البذرية من العنب تحتوى طبيعيا على تركيز كاف من الجبريللينات ولا تحتاج إلى مصدر خارجي.

ولذلك فإن نمو الثمار فى العنب يتحكم فيه الجبريللينات بدرجة كبيرة وأن المصدر الأساسى لهذه الجبريللينات هى البذور أثناء مراحل تكوينها ونضجها . ولذلك فإنه يمكن أن تحل المعاملة بالجبريللينات محل البذور الغير ناضجة فى تموين المبيض بالكميات اللازمة من الجبريللينات ولذلك تتكون الثمار الكبيره الحجم.

يحدث نفس التأثير عن معاملة مبايض أزهار الطماطم بالجبريللينات حيث تتكون ثمار طماطم عديمة البذور. يمكن أيضا أن تحدث نفس الحالة فى ثمار التين. ومما هو جدير بالذكر أن الأوكسينات يمكن أن تحل محل الجبريللينات تماما فى العنب والطماطم والتين وتتكون الثمار بكريا. يختلف الحال فى ثمار الخوخ والمشمش والبرقوق واللوز والتفاح حيث لا يمكن إنتاج ثمار عديمة البذور أى لا يحدث الأثمار البكرى إلا بواسطة المعاملة بالجبريللينات فقط ولا يمكن أن تحل الأوكسينات محل الجبريللينات. يعتبر نمو الثمرة نتيجه للتفاعل بين الهورمونات المختلفة الموجودة فى المبيض والثمار الصغيرة ومنها الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات. وفى حالة التفاح أثناء مراحل تكوين البذور فإن تركيز السيتوكينينات يزداد أولا ثم يزداد تركيز الأوكسينات والجبريللينات بعد ذلك. وحتى الآن غير معروف بالضبط الدور الذى تقوم به الجبريللينات فى تكوين وتكشف الثمار والبذور توجد تفسيرات كثيرة لذلك وكلها غير مؤكدة ومنها أن الجبريللين يمكن أن يسبب تخليق الأوكسينات والتى بدورها تؤثر على تكوين الثمار.

١٠ ـ الشيخوخة Senescence:

يمكن أن تسبب المعاملة بالجبريللين تأخير فى الشيخوخة فى الأوراق المنزوعة فى بعض النباتات مثل أبو خنجر *Tropaeolum majus* و *Rumex obtusifolius* و *Ta-raxacum officinale*. تأخير الشيخوخة يكون مصحوب .بالتأخير فى نقص الكلوروفيل والبروتين و RNA. يكون ذلك نتيجة لبطء فى هدم هذه المركبات وأيضا زيادة كفاءة تخليقها أى أن الجبريللين يساعد على بطء هدم المركبات كما يساعد أيضا على تخليقها. يمكن إثبات ذلك بإدخال ليوسين مشع فى البروتين وإدخال أدنين مشع فى RNA حيث يزداد تركيز البروتين المشع وأيضا RNA المشع نتيجة للمعاملة بالجبريللين . يمكن إثبات نفس الحالة فى الكلوروفيل فى أوراق نبات *Ta-raxacum* كما وجد أن زيادة تركيز الجبريللين يسبب زيادة فى تركيز الكلوروفيل وتستخدم هذه الحقيقة وهذه التجربة فى تقدير تركيز الجبريللين بالطرق الحيوية (شكل ١١٩).



(شكل ١١٩): تأثير المعاملة بالجبريللين على محتوى الكلوروفيل فى خلايا أوراق *Taraxacum officinale*.

يعتبر ما ذكر سابقا خاص بالنباتات المذكورة فقط حيث أنه فى الغالبية العظمى من النباتات تسبب معاملة الأوراق بالجبريللين لون باهت للأوراق. حيث تصبح الزيادة في حجم خلايا الأوراق غير متناسبة مع تركيز الكلوروفيل ولكن بعد فترة تسترد الأوراق المعامله بالجبريللين لونها. ولذلك فى هذه الحالات لا يوجد دليل مباشر على أهمية الجبريللين فى تخليق الكلوروفيل أو بطء هدمه.

وجد أيضا أن معاملة ثمار الموز والبرتقال بالجبريللين أثناء نضجها وتحولها من اللون الأخضر إلى الأصفر أو البرتقالى يؤخر من عملية نضجها ويتأخر ظهور اللون الأصفر أو البرتقالى . وفى حالة نضج ثمار البرتقال تصبح صفراء اللون فإنها تتحول إلى اللون الأخضر مرة أخرى نتيجة لمعاملتها بالجبريللين. يمكن رش أشجار الموالح بالجبريللين ليؤخر سرعه التلوين فى الثمار على الأشجار وبذلك يزيد موسم التسويق.

١١ - سقوط الأوراق والثمار Abscission:

لا تسبب المعاملة بالجبريللين تأثير على سقوط الأوراق والثمار فى الغالبية العظمى من النباتات ولكن توجد حالات قليلة خاصة ومنها ثمار الطماطم. فمن المعروف أن أزهار الطماطم الغير ملقحة يتكون لها طبقة إنفصال وتسقط abscise and fall . وجد أن معاملة هذه الأزهار بالجبريللين تمنع سقوطها وتسبب تكوين ثمار بكرية . يعتبر تأثير الجبريللين فى هذه الحالة غير مباشر حيث أنه يسبب تشجيع تخليق الأوكسين وأن الأخير يمنع سقوط الأزهار ، أى أن الجبريللين يشجع تخليق الأوكسين فى هذه الحالة . وفى بعض الحالات القليلة الأخرى يؤخر الجبريللين سقوط الأوراق فى نباتات الأسفنداان و *Acer* و *Fraxinus* وهى نباتات غابات متساقطة الأوراق وهو يضاد عمل حامض الأبسيسيك فى هذه الحالات.

١٢ - الإنتحاء Tropism:

وجد أن تعريض ساق عباد الشمس للضوء من جانب واحد يسبب إنتماء الساق ناحية مصدر الضوء . وقد وجد أن تركيز الجبريللينات القابلة للإنتشار diffusible GA فى الجزء من الساق البعيد عن الضوء هو حوالى ثمانية أضعاف تركيز هذا

النوع من الجبريللينات فى الجزء االمواجه للضوء . وجد أيضا أنه عند وضع نبات عباد الشمس أفقيا يزداد تركيز الجبريللين فى الجزء السفلى عنه فى الجزء العلوى . غير معروف بالضبط ميكانيكية حدوث ذلك تحت تأثير الضوء والجاذبية الأرضية.

التقزم الوراثى Genetic Dwarfism

من أهم الخواص الملفتة للجبريلينات هى مقدرتها فى التغلب على الطرز المظهرية للتقزم الوراثى فى نباتات معينة ـ وفى بعض الأحيان فإن التقزم الوراثى يرجع إلى طفرة جينية gene mutaion ومن أحسن الأمثلة على ذلك هى إحدى طفرات نبات الذرة تسمى (d 5) dwarf-5 والتى ترجع إلى حدوث طفرة فى جين واحد single gene mutation ويظهر الطراز المظهرى phenotype لهذه الطفرة قزمياً بسبب نقص الجبريلينات ـ ويحدث التطفر إيقاف المسلك الأيضى لبناء الجبريلين فى الخطوة بين copalyl pyrophosphate والكاورين kaurene ـ وكما هو معروف فبدون الكاورين لا تنتج الجبريلينات. وبصفة عامة فإن النباتات التى لها مثل هذا النموذج من التقزم تكون سلامياتها قصيرة ويكون حجمها فى حدود (١/٥) حجم النباتات العادية .ولهذا السبب فإن استعمال الجبريلين لطفرة (d5) أو إحدى الطفرات الجينية المفردة المتقزمة single gene dwarf mutant مثل البسلة *Pisum sativum* والفول *Vicia faba* وفاصوليا *Phaseolus multiflorus* يتسبب فى استطالة هذه الطفرات حتى تصير غير مميزة عن نظائرها من النباتات العادية (الغير مطفورة) وعندما يحدث تغيير الطراز المظهرى phenotype لنبات ما ذو طراز جينى واحد onegeno-type وذلك باستعمال المعاملات الكيمائية أو الطبيعية ـ فإنه يماثل أو يحاكى mim-ic الطراز المظهرى لنبات آخر ذو طراز جينى مختلف ـ تسمى هذه الظاهرة بالنسخة المظهرية phenocopy .

والجبريلينات لها تأثير قليل عندما تستخدم للنباتات العادية ولكن تزداد أستجابة النباتات المتقزمه للجبريللين بزيادة التركيز المستعمل.

وعلى الرغم من أن تقزم نباتات معينة يرجع إلى نقص الجبريلينات إلا أن بعض النباتات المتقزمة لا تستجيب للأضافة الخارجية للجبريلينات ولا يوجد بينها اختلاف فى المحتوى الجبريلينى وبين النباتات العادية ـ ويقترح بعض الباحثون أن مثل هذه النباتات المتقزمة ربما تحتوى على مستقبلات غير نشطة أو غير فعالة ineffective re-ceptors أو بها إعاقة أيضية metabolic blockage أو من المحتمل أنها تحتوى على كمية زائدة من المثبطات الطبيعية natural inhibitors- وكل هذه الاقتراحات أو الافتراضات مهمة ولكنها ليست لها قيمة بدون الدليل التجريبى الكافى.

ديناميكية (آلية) عمل الجبريللينات :

Mode of Action (How Gibberillins work?)

أجريت تجارب كثيرة لمعرفة ديناميكية عمل الجبريللينات ومن المعروف أن الجبريللينات لها تأثيرات عديدة مثل استطالة الخلايا وأنقسام الخلايا وتشكل الخلايا وأنبات البذور وكسر طور السكون. إلا أن الحالة الوحيدة المدروسة بالتفصيل لميكانيكية عمل الجبريللينات هى كيفية تأثير الجبريللين على إنبات الحبوب .

يتحكم الجبريللين فى تحليل النشا عن طريق تنظيم إنتاج أنزيم الأميليز . ينتج عن معاملة حبة الشعير المنزوعة الجنين بالجبريللين تكوين أنزيم الأميليز وأيضا أنزيمات أخرى مثل ribonuclease ريبونيكلييز كما تتحرر release هذه الأنزيمات من أماكن إنتاجها وتنتقل إلى أماكن أخرى وخلايا أخرى غير المنتجة فيها لكى تظهر تأثيرها (شكل ١٢٠) . يسبب هذا الأنزيم تحليل النشا الموجود فى أندوسبرم الحبة (يسمى النشا باللاتينى amylum ولذلك يسمى الأنزيم الذى يقوم بتحليله amylase) .يتكون الأنزيم فى طبقة الأليرون تعتبر وظيفة طبقة الأليرون تخليق وإفراز أى تحرر أنزيم الأميليز والذى يسبب هضم الغذاء المختزن فى الأندوسبرم. تعتبر خلايا طبقة الأليرون هى الخلايا الوحيدة التى تتأثر بالجبريللينات حيث يتم فيها تخليق أنزيم الأميليز والذى يتأثر تخليقه بواسطة الجبريللينات.

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

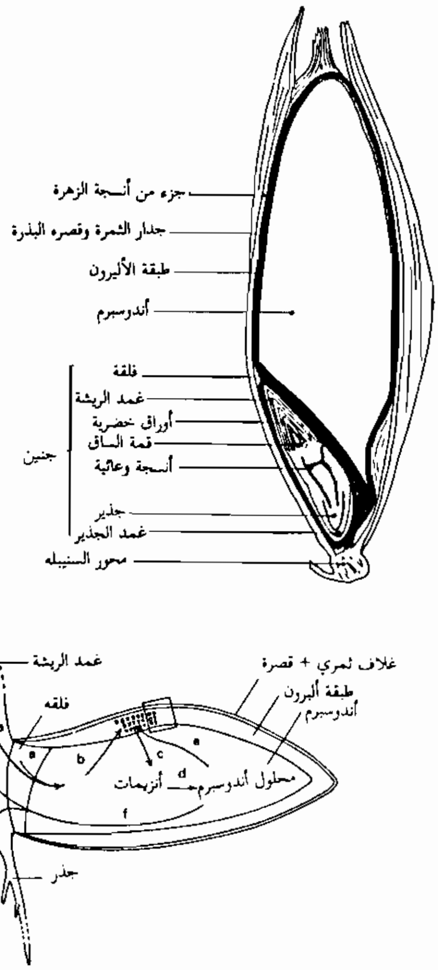
https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/Biothesis/

https://www.researchgate.net/profile/Salam_Ewaid/

07807137614





(شكل ١٢٠) : تأثير الجبريللين علي حبوب الشعير أثناء الأنبات.

- قطاع طولي في حبه شعير (علوي)
- خطوات تحليل الأندوسبرم (سفلي)

يتكون حامض الجبريلليك في غمد الريشة والفلقة (a) ثم يهاجر إلي طبقة الأليرون (b) وحيث يحدث تنشيط للأنزيمات وأهمها ألفا أميليز . تنتشر هذه الأنزيمات إلي الأندوسبرم النشوي(c) والتي تستخدم في تحليل النشا في هذا النسيج (d) ويتكون نتيجة لذلك محاليل من نسيج الأندوسبرم. يمكن أن تسبب هذه المحاليل تثبيط في إنتاج الأنزيمات (e) وتستخدم أيضا في تغذية الجنين (f) أثناء نموه .

يسبب الجبريللين تخليق أنزيم ألفا أميليز. حيث يتم تخليق الأنزيم من أحماض أمينية من بداية تخليق بروتين الأنزيم حتى نهاية تكوين البروتين ولذلك فإن للجبريللين دور أساسى فى تخليق البروتين وليست دور ثانوى مجرد تحويل بروتين الأنزيم من حالة خاملة إلى حالة نشطه. أمكن إثبات ذلك بإضافة أحماض أمينية معلمه أى مشعة إلى حبوب الشعير أو طبقة أليرون الشعير المعاملة بالجبريللين حيث تكون بروتين مشع. علاوة على ذلك فإنه أمكن تثبيط تخليق البروتين المشع بإضافة مركبات مثبطة لتخليق البروتين مثل سيكلوهيكسيميد cycloheximid. وجد أيضا أن معاملة الحبة أو طبقة الأليرون بمركب مثبط مثل actinomycin يمنع تخليق ونشوء وتحرر mRNA من DNA وبالتالى فإنه يمنع تخليق البروتين أيضا حيث أن الأخير يتكون من mRNA. ولذلك فإن ميكانيكية عمل الجبريللين فى هذه الحالة هى المساعدة فى تخليق وتكوين mRNA من جزيئى DNA حيث أن الجبريللين فى هذه الحالة يعمل كمانع derepressor لمثبطات أو موانع الجينات repressors. حيث أن مثبطات أو موانع الجينات تمنع تكوين بروتين أنزيمات الأميليز وحيث أن الجبريللين يمنع أى يضاد عمل هذه الموانع فإنه يساعد على تكوين وتحرر جزئى mRNA من جزيئ DNA وحيث أن mRNA يسبب تخليق البروتين ومنه بروتين أنزيم الأميليز. ولذلك فإن للجبريللين دور أساسى فى تخليق بروتين أنزيم ألفا أميليز.

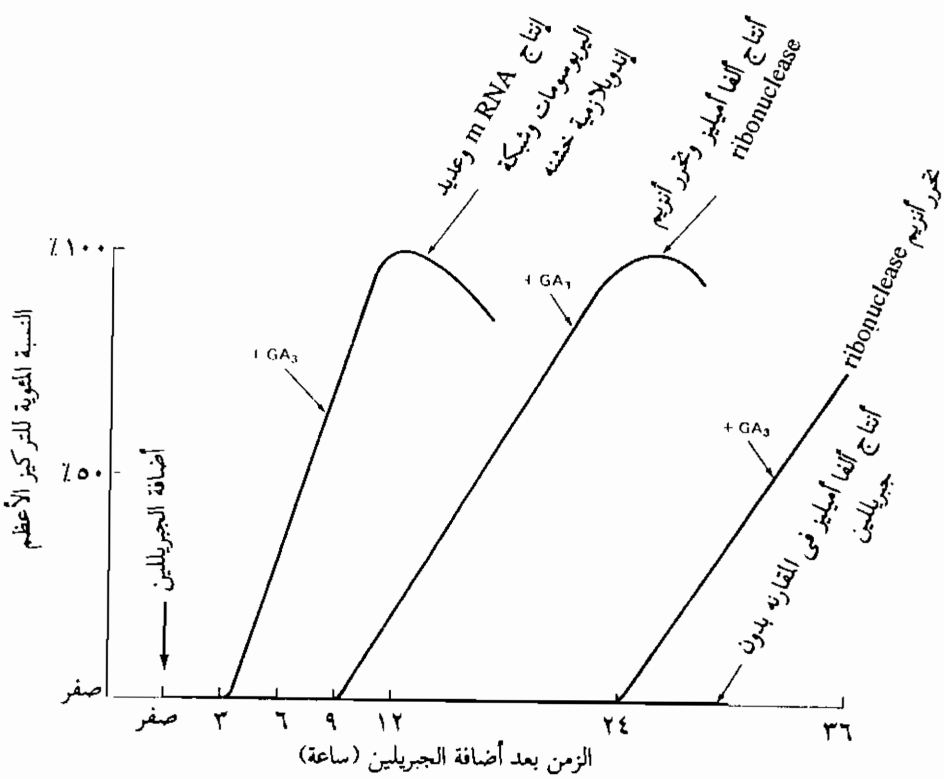
وجدت صعوبة قديماً فى تحديد تركيز نوع معين من mRNA لأن تركيزه منخفض بدرجة كبيرة جداً ولعدم وجود طرق يمكن بها التعرف على نوع mRNA المتكون . ولكن حديثاً نسبياً أمكن أكتشاف أن mRNA له ذيل من جزيئات عديدة من الأدنين كما وجد أيضاً أن الأدنين يلتحم مع uridine بواسطة روابط إيدروجينية، ومن هذه الخاصية الأخيرة يمكن فصل mRNA وذلك بواسطة أستعمال عمود column يحتوى على عديد اليوريدين polyuridine مرتبط بمحتويات العمود ولذلك عند أمرار مستخلص RNA على العمود فإن mRNA سيرتبط بمحتويات العمود بينما الأنواع الأخرى من RNA لن ترتبط بالعمود وتتخلل العمود ويتم تجمعها أسفل العمود. يمكن الحصول على mRNA المرتبط بالعمود وذلك بتغيير محلول

الغسيل للعمود وحيث يوجدمحلول مناسب لفك إرتباط mRNA بالعمود ويصبح الأخير موجود فى محلول الغسيل الذى يتم تجميعه أسفل العمود. ومن المحلول الأخير يمكن تقدير تركيز mRNA وبإستعمال هذه الطريقة أمكن إثبات أن نيكليوسيدات nucleosides ترتبط مع mRNA فى وجود وبواسطة نواه طبقة الأليرون وأن ذلك يحدث بعد أربعة ساعات من أضافة الجبريللين . يتم تثبيط إنتاج أنزيم ألفا أميليز بإستعمال مركب مثبط وهو cordycepin حيث أن الأضافة المبكره لهذا المركب تمنع أكتمال تخليق جزيىء mRNA. كلما كانت أضافة هذا المركب المثبط متأخرة كلما قل تأثيره المثبط، ولذلك يصبح هذا المركب المثبط عديم الفاعلية تماماً عند أضافته بعد ١٢ ساعة من إضافة الجبريللين. ولذلك فإن الجبريللين ينتج mRNA لأنزيم ألفا أميليز أنتاج تام وكامل بعد ١٢ ساعة وحيث لا يؤثر cordyce-pin. وقد أمكن التأكد من طبيعة mRNA المخلق حديثاً فى وجود الجبريللين وذلك بتنقيه هذا mRNA ثم أضافتة *in vitro* إلى جهاز تخليق البروتين والذى يتكون من الريبوسومات tRNA والأنزيمات والأحماض الأمينية اللازمة. وجد أن البروتين الناتج من هذه التجربة يماثل تماماً بروتين أنزيم ألفا أميليز. أمكن التأكد من ذلك بإستعمال الطرق السيريولوجية وأستخدام طرق الفصل بالهجرة فى مجال كهربائى electrophoresis.

فى أثناء ظهور mRNA فإن عدد الريبوسومات وعديد الريبوسومات وكمية الشبكة الأندوبلازمية تزداد فى خلايا الأليرون . تحدث هذه التغيرات أيضاً فى الخلايا التى يتم فيها تخليق الأنزيمات ثم يتم أفراز هذه الأنزيمات إلى خلايا أخرى such changes are often typical of cells manufacturing enzymes for secretion (شكل ١٢١).

ولذلك فإن الجبريللين يساعد فى تخليق الأنزيمات وأيضاً أفرازها. وجد أيضاً أن الجبريللين يساعد فى تخليق أنزيمات أخرى (جدول ٦ وجدول ٧) مثل البروتييز protease والريبونيوكليز ribonuclease وذلك بالأضافة إلى أنزيم ألفا أميليز، ولذلك فإن الهورمون يسبب حدوث سلسلة من التفاعلات ينتج عنها هضم الغذاء المختزن فى

البذرة. ليصبح صالح لأستعمال النبات الصغير السن. يساعد الجبريللين أيضاً فى أفراز جميع هذه الأنزيمات من طبقة الأليرون إلى الأندوسبرم . يتم تخليق أنزيم ألفا أميليز وأفرازه من خلايا الأليرون بعد تسع ساعات من إضافة الجبريللين وأيضاً يتم تخليق أنزيم ريبونيكلييز بعد تسع ساعات من إضافة الجبريللين ولكن يتم إفرازه من الخلايا بعد مدة أطول من ٢٤ ساعة.



(شكل ١٢١) : تأثير المعاملة بالجبريللين على خلايا أليرون الشعير.

يتضح مما سبق أن الجبريللين يمنع عمل موانع الجينات أى أنه derepressor وبالتالى فإنه أيضاً يساعد على أداء بعض الجينات لعملها turning on certain genes وأما عن نوع الجينات التى يساعد فى عملها فإن ذلك يتوقف على نوع الخلية. وقد أجريت أبحاث قليلة عن تأثير الجبريللين فى التحكم فى أستطالة الخلايا ومن أمثلة ذلك أن أستطالة السلاميات فى نبات الزمير الناضج قبل الأزهار تكون راجعة إلى أستطالة السلاميات. حيث أنه وجد أن هذه الخلايا تستطيل فقط دون أن تنقسم فى وجود الجبريللين وفى غياب الأوكسين تماماً ولكن فى وجود الأوكسين فإن هذه الخلايا يحدث لها أنقسام للخلايا علاوة على أستطالة الخلايا . وأتضح من التجارب أن الجبريللين يسبب أستطالة الخلايا فى وجود زيادة حموضة جدر الخلايا كما سبق ذكره فى حالة الأوكسينات وجد أن هذه الخلايا الحساسة للجبريللينات والتى تتأثر بها لا تتأثر بالأوكسينات . يعتقد أن الأختلاف فى مدى حساسية خلايا النبات للأوكسينات أو الجبريللينات يتوقف على مدى وجود أماكن مختلفة مستقبلة للهورمونات فى هذه الخلايا different hormone-receptors أى أن بعض الخلايا فيها أماكن لأستقبال الجبريللين وخلايا أخرى فيها أماكن لأستقبال الأوكسين وقد يوجد فى الخلية الواحدة أماكن لأستقبال الأوكسين والجبريللين.

(جدول ٦) : الأنزيمات التى يشجع تكوينها الجبريللين فى أليرون الحبوب

GA - induced enzymes in cereal aleurone

حالة التأثير	نوع الأنزيم
نعم	α - Amylase
نعم	Protease
نعم	Ribonucclease
نعم	B - Glucanase
نعم	Esterase
نعم	Acid phosphatases
نعم	P - nitropheny1 phosphatase
نعم	ATPase
نعم	Phytase
نعم	Naphthol AS - B1 phosphatase
نعم	GTPase
نعم	Pentosanase
نعم	Endoxylanase
نعم	Xylopyranosidase
نعم	Arabinofuranosidase
نعم	Glucosidase
نعم	Peroxidase
لا	Catalase
لا	Malate dehydrogenase
لا	Malate synthetase
لا	Isocitrate lyase
لا	Citrate synthetase
لا	Phosphorylcholine glyceride transferase
لا	Phosphorylcholine cytidyl transferase

(جدول ٧) الأنزيمات التى يشجع تكوينها الجبريللين فى بذور الخروع.

نوع الأنزيم	حالة التأثير	العضية
Aconitase	نعم	M
Amino transferase	نعم	GM
Catalase	نعم	G
CDP choline glyceride transferase	نعم	ER
Citrate synthase	نعم	M
Fructose diphosphatase	نعم	C
Fumarase	نعم	M
Hydroxy acy1 - COA dehydrogenase	نعم	N .D
Isocitrate lyase	نعم	G
Malate dehydrogenase	نعم	C.G
Malate synthetase	نعم	G
NADH - cytochrome C reductase	نعم	ER
NADH ferricyanide reductase	نعم	M
Phosphoenolpyruvate carboxykinase	نعم	C
Succinic dehydrogenase	نعم	M
NADH oxidase	نعم	M
Acid lipase	لا	N.D
Alkaline lipase	لا	N.D
Choline phosphotransferase	لا	ER
Citrate synthase	لا	G
Cytochrome oxidase	لا	M
Enolase	لا	C
Malate dehydrogenase	لا	M
OH pyruvate reductase	لا	G
Pyruvate kinase	لا	C

M = ميتوكوندريا

glyoxysome = G

ER = الشبكة الأندوبلازمية

C = سيتوبلازم

السيتوكينينات

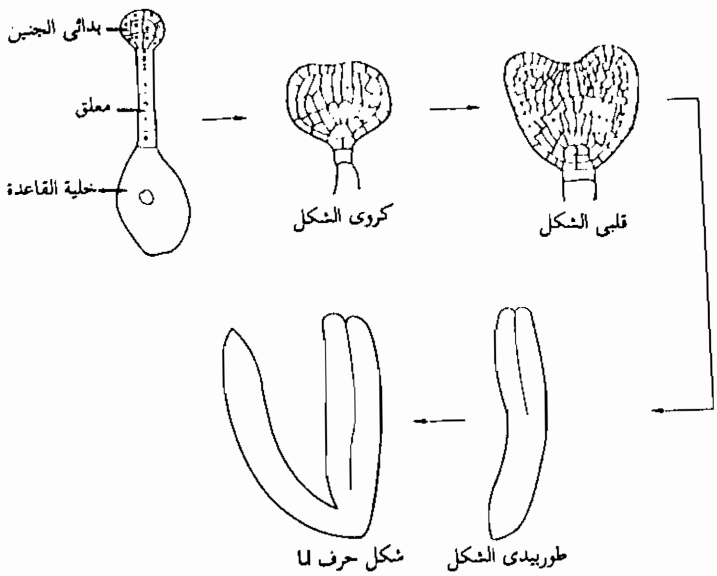
CYTOKININS

هى عبارة عن مركبات لها دور أساسى واضح فى أنقسام الخلايا ولكن لها أيضاً وظائف أخرى علاوة على ذلك أنها تسبب كبر حجم الخلايا وأيضاً تؤثر على التشكل وأيضاً لها تأثير على الشيخوخة والازهار والاثمار. أشتق أسم السيتوكينينات من الأسم العلمى لأنقسام الخلايا cell division أى الأسم باللغة اللاتينية cytokin-esis ومعناه إنقسام الخلايا.

كيفية اكتشاف السيتوكينينات:

من التجارب التى أجريت قديماً بصدد دفع خلايا النبات على الانقسام وحدوث النمو كان حوالى سنة ١٩٤١ حيث حاول Van Overbeek وآخرون تنمية خلية البيضة من الكيس الجنينى على بيئة صناعية وكان مصير ذلك هو الفشل . وعندما قاموا بنزع الجنين فى مراحل نموه الأولى فأنه لم يمكنهم تنمية هذا الجنين أيضاً ولكن عندما عزلوا أو فصلوا الجنين وهو فى الطور الطوربيدى torpedo وأيضاً فى المراحل التى تلى ذلك فقد أمكنهم تنمية هذا الجنين على بيئة صناعية تحتوى على مجموعة من المركبات منها مركبات عضوية (شكل ١٢٢). وبعد ذلك حاولوا تجربة كثير من المركبات لمحاولة تنمية الجنين وهو صغير الحجم ، فقد أمكن عمل ذلك بعد إضافة لبن جوز الهند coconut milk إلى البيئة فقد وجد أن الأجنة فى طورها البدائى يمكن أن تنمو على هذه البيئة. وفى هذه الفترة استنتجوا أن لبن جوز

الهند يحتوى على مركب أو مركبات غير موجودة فى المركبات التى اختبروها وغير معروفة تؤثر على انقسام الخلايا وتكوين الجنين فى مراحل نموه الأولى، وهذه الطرق المستعملة تعتبر أحد أنواع الطرق المسماه بمزارع الانسجة tissue cultures ومما هو جدير بالذكر أنه لم يمكن أيضاً تنمية خلية البيضة على هذه البيئة المحتوية على لبن جوز الهند. قام بعد ذلك Steward ومساعدوه عام ١٩٥٢ بمحاولة لفصل المركب الفعال الذى يسبب إنقسام خلايا النبات من لبن جوز الهند . تم الحصول على مركبين وهما myo - inositol و diphenyl urea وليس لهما أى دور فى أنقسام الخلايا . كما تم عزل مركبات أخرى من لبن جوز الهند مثل بعض الأوكسينات المرتبطة والأحماض الأمينية، وبالتالى فإن هذه المركبات منفردة غير قادره على تنشيط إنقسام الخلايا كما فى حالة لبن جوز الهند . ذلك أن لبن جوز الهند يحتوى على مركبات كثيرة وأن كثير من هذه المركبات يشترك فى تنشيط إنقسام الخلايا وفى تلك الفترة أيضاً أمكن أثبات أن مستخلصات بعض الثمار والبذور أثناء تكوينها تسبب تنشيط إنقسام الخلايا كما هو فى حالة لبن جوز الهند مثل نبات الذرة و *Aesculus*و *Ginkgo* .



(شكل ١٢٢) : خطوات تكوين الجنين فى نبات كيس الراعى *Capsella bursa - pastoris*

قام Skoog ومساعدوه بعمل اختبار لكثير من المركبات الموجودة فى البيئة الطبيعية لاختبار قدرة كل مركب على حده فى حدوث عملية انقسام الخلايا. ولذلك فأنه قد قاموا باختبار عدد كبير جداً من المركبات وبالفعل قد أمكن التوصل إلى أن المركب الموجود فى الأحماض النووية والمعروف باسم أدنين (أحد القواعد النيتروجينية النووية) له قدرة على حدوث انقسام لخلايا نخاع ساق الدخان وأيضاً بعض الأنسجة الأخرى فى نباتات أخرى . كما وجدوا أيضاً أن المركب المشتق منه وهو Adenosine، هو عبارة عن مركب الادنين مرتبط بسكر الريبوز له نفس الكفاءة .

وقد أستمرت التجارب بهذين المركبين لفترة وفى أثناء تجاربهم على herring sperms وهى الحيوانات المنوية لأسماك الرنجة فقد وجد أن عينة قديمة من هذا السائل أى محفوظة لمدة طويلة عند اضافتها للبيئة أمكنها احداث انقسام للخلايا والتأثير عليها، ونتيجة لهذا الاكتشاف فقد استخلصوا السائل المنوى من هذا النوع من السمك فى عينات حديثة وقاموا بتجربة هذه العينات الحديثة فقد وجدوا أنها غير مؤثرة على انقسام الخلايا، ومن هنا استنتجوا أن العينة القديمة قد حدث فيها تحلل لـ DNA للحيوانات المنوية (الجاميطات الذكرية) وأن ناتج تحلل الـ DNA وليست الـ DNA نفسه هو الذى يسبب انقسام للخلية وقد استنتجوا أن فى نواتج تحلل الـ DNA مركب يؤثر على انقسام الخلايا، ولم يتمكنوا من معرفة هذا المركب وقاموا بعد ذلك بنشاط ملحوظ لتطبيق هذه القاعدة فقاموا باستخلاص الـ DNA أى الأحماض النووية من السائل المنوى للرنجة، ولتحليلها قاموا بتعقيمها فى الاوتوكلاف فيحدث تحلل للمركبات ، وجدوا بالفعل أن هذه العينات الحديثة بعد تعقيمها بالاتوكلاف فأن ناتج التعقيم كان فعالاً ومؤثراً على أنقسام الخلايا، ومن هذه التجارب اتضح بما لا يدعوا للشك أن نتيجه تحليل الـ DNA تتكون مركبات تؤثر وتنشط انقسام الخلايا.

وقد قاموا بالفعل بعمل محاولات لاستخلاص المركب المسئول عن ذلك ، وفى سنة ١٩٥٥ تمكن Skoog ومساعدوه وخاصة Miller من عزل مركب فى صورة نقية وتركيبه الكيماوى عبارة عن 6-furfuryladenine وقد سمى هذا المركب

تسمية تجارية باسم kinetin وقد وجدوا هذا المركب الاخير لا يؤثر فى انقسام الخلايا الا فى وجود الأوكسين ولكن وجود الاوكسين فقط لا يؤثر على الاطلاق فى انقسام الخلايا مما يدل على أن kinetin هو المركب المحدد لذلك فى انقسام الخلايا، ومن المعروف أن كفاءة kinetin تفوق بكثير كفاءة الادنين أو الادينوزين فى انقسام الخلايا ولذلك يستعمل الآن الكينتين kinetin بكثرة ومما هو جدير بالذكر أن الأدنين والأدينوزين لا يستعملان الآن حيث أن نشاطهما ضعيف جداً .

مما هو جدير بالذكر أيضا أن الكينيتين kinetin لا يعتبر سيتوكينين طبيعى بل يعتبر سيتوكينين صناعى بالرغم من تكونه من DNA الخلايا حيث أنه فى الحالة العادية للكائنات الحية لا ينتج عن الـ DNA كينيتين سواء فى النبات أو الحيوان ولكن فى الظروف الغير طبيعية مثل التعريض للاوتوكلاف وخلافه ينتج الكينيتين.

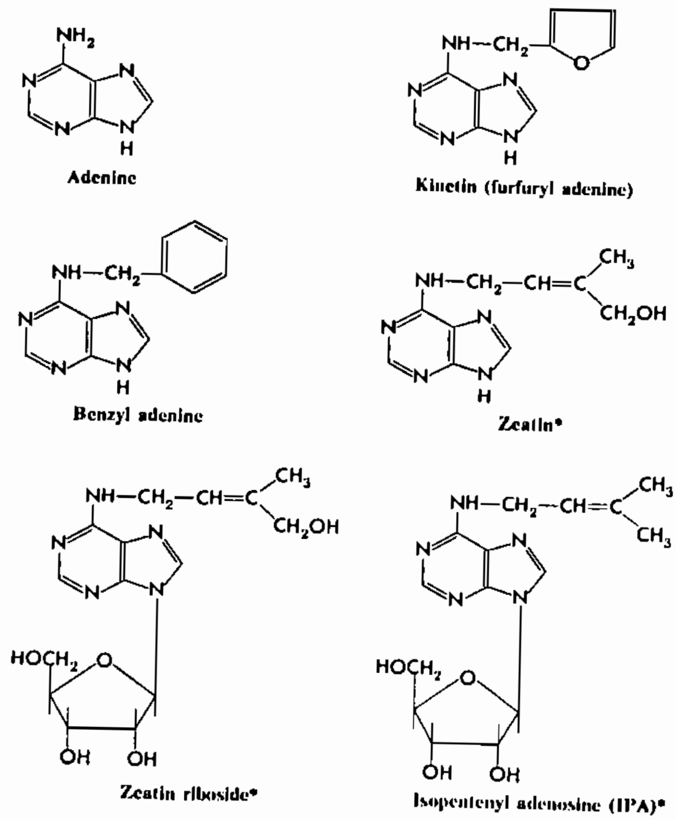
نبذة تاريخية عن اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية:

مما سبق يتضح أن اكتشاف السيتوكينينات الصناعية أى التركيبية سبق بوقت كبير نسبياً اكتشاف السيتوكينينات الطبيعية فبعد اكتشاف الكينتين حاول كثير من العلماء استخلاص مركبات مماثلة من مصادر طبيعية وأجريت فى ذلك تجارب كثيرة وقد استخدمت فى ذلك ثمار التفاح والكمثرى الصغيرة حيث أنها تكون نشطة فى الانقسام وتكون مصدر للسيتوكينينات كما استعملت بادرات كثير من النباتات حيث أنها أيضاً تكون نشطة فى الآنقسام، وقد عزلت بعض المركبات وقد كان لها نشاط مؤثر على انقسام الخلايا إلا أن أول مركب طبيعى عزل بصورة نقية وعرف تركيبه وتأثيره بالتفصيل كسيتوكينين طبيعى هو مركب معزول من الحبوب الصغيرة للذرة الشامية فى أثناء تكوينها على الكوز ولأن الذرة الشامية أسمه العلمى *Zea mays* فقد سمى هذا المركب باسم zeatin وكان ذلك بواسطة العالم Letham النيوزيلاندى سنة ١٩٦٤، وبعد ذلك أمكن عزل مركب من حبوب الذرة السكرية وأسمه zeatin riboside، وتعتبر هذه المركبات أول مركبات سيتوكينين طبيعى عزلت بطريقة لا تدع مجال للشك، وأمكن بعد ذلك فى عام ١٩٦٧ من تحليل لبن جوز الهند وأتضح أن هذا المحلول يحتوى على مركب zeatin riboside

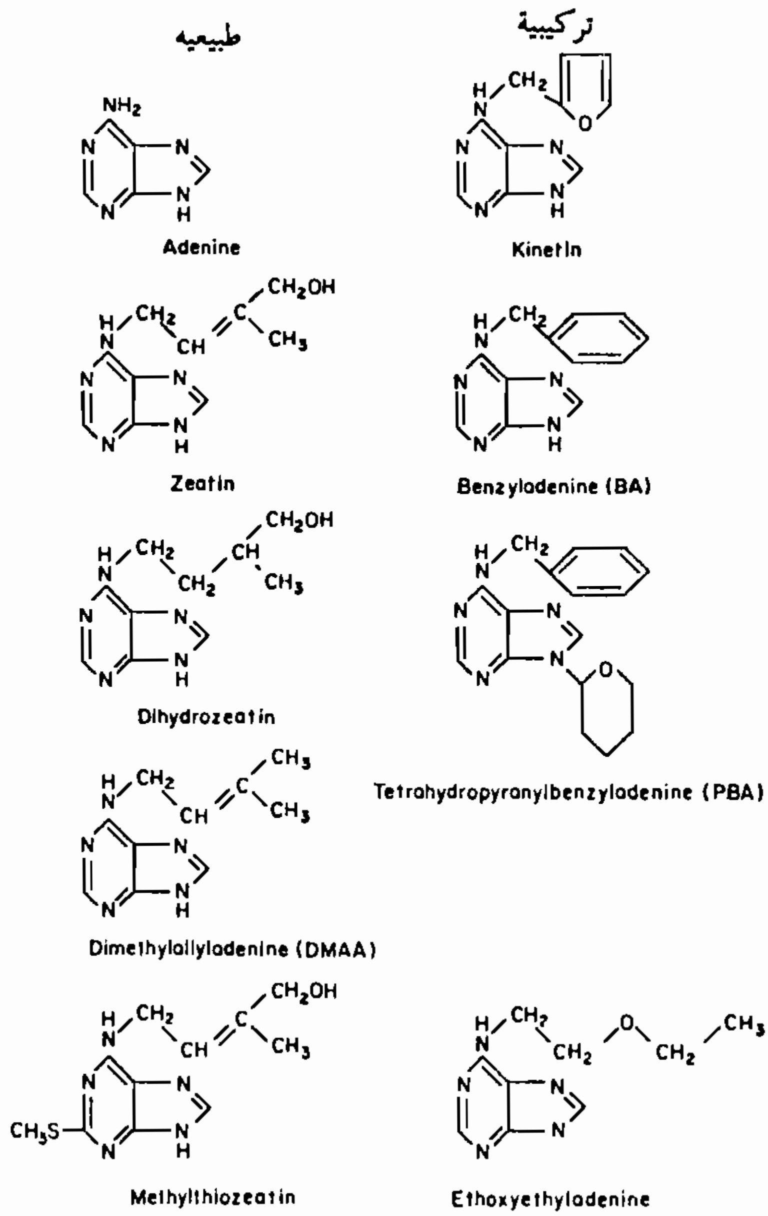
ومن هنا يتضح أن هذا المركب هو الفعال فى انقسام الخلايا كما سبق ذكره فى تجارب مزارع الأنسجة المذكورة سابقاً . والـ zeatin riboside يختلف عن zeatin بأنه مضاف اليه مركب سكر خماسى الريبوز. وبذلك تم التعرف على مركب السيتوكينين الموجود فى لبن جوز الهعد بعد ٢٦ سنة.

تقسيم السيتوكينينات :

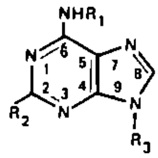
تقسم السيتوكينينات إلى سيتوكينينات طبيعية وهى التى تنتج أساساً بواسطة النبات وسيتوكينينات تركيبيه وهى التى لا تتكون فى النبات ولكنها تخلق صناعياً (أشكال ١٢٣- ١٢٦) .

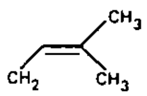
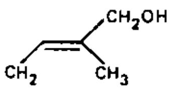
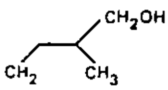
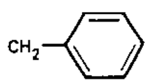
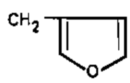
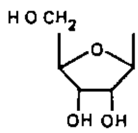


(شكل ١٢٣) : التركيب الجزيئى لبعض مركبات السيتوكينين التركيبية والطبيعية (ذات النجمة) .

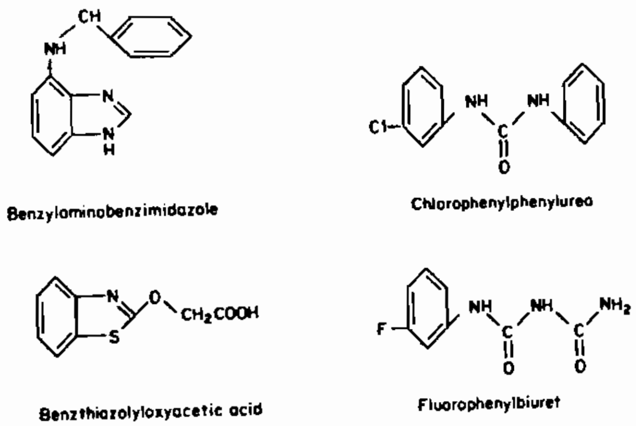


(**شكل ١٢٤**) : بعض السيتوكينينات الطبيعية والتركيبية.



الأستبدلات			الأسم العرفي	الأختصار
R_1	R_2	R_3		
	H	H	N^6 (Δ^2 – isopentenyl) adenine	i^6Ade
	H	ribofuranosyl	N^6 (Δ^2 – isopentenyl) adenosine	i^6A
	CH_3S	ribofuranosyl	2 methylthio N^6(Δ^2-isopentenyl) adenosine	ms^2i^6A
	H	H	zeatin	io^6Ade
	H	ribofuranosyl	zeatin riboside	io^6A
	H	H	dihydrozeatin	H_2io^6Ade
	H	H	N^6 (benzyl) adenine	bzl^6Ade
	H	H	kinetin	
H	H		β-D-ribofuranosyl adenosine	

(شكل ١٢٥) : التركيب الجزيئي لبعض السيتوكينينات الطبيعية والتركيبية.

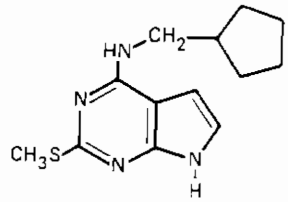


(شكل ١٢٦) : بعض السيتوكينينات التى يدخل فى تركيبها الأدنين.

وعادة تنتج المركبات التركيبية لاستخدامها فى الأغراض الزراعية، ومثال ذلك الكينيتين والبنزيل أدينين وهذا المركب الأخير يستعمل بطريقة أقتصادية فى رش رؤوس البروكولى للاحتفاظ بحيوية النبات لمدة كبيرة أثناء التسويق.

مضادات السيتوكينينات Anticytokinins

وجد أن مركب - 4 - cyclopentylamino-2-methyl thiopyrrolo (2, 3-d) pyrimidine يسبب توقف إنقسام خلايا نخاع ساق التبغ ولذلك يعتبر مضاد للسيتوكينينات (شكل ١٢٧).



(شكل ١٢٧) : مضاد السيتوكينين.

4 - Cyclopentylamino - 2 - methylthiopyrrolo (2,3 - d) - Pyrimidine

كفاءة المركبات المختلفة للسيتوكينينات:

١ ـ من المعروف أن الغالبية العظمى من السيتوكينينات تتكون من أصل هو عبارة عن مركب الادنين ومرتبط به سلسلة جانبية تتكون عادة من خمس ذرات كربون. وقد وجد بالفعل أن المركبات ذات الخمس ذرات كربون الملتصقة بالأدنين هى عبارة عن أكثر المركبات كفاءة فى العمل كسيتوكينينات. وأن تغيير هذا التركيب يؤثر على كفاءة المركب (شكل ١٢٤).

٢ ـ وفى تجارب لزيادة طول السلسلة الجانبية عن خمس ذرات كربون حتى عشر ذرات كربون فقد وجد أن زيادة عدد ذرات الكربون فى السلسلة الجانبية عن خمس ذرات يقلل من نشاط وكفاءة المركب كسيتوكينين ، وقد وجد أن أضافة ذرة أكسيجين فى السلسلة الجانبية كما فى مركب ethoxyethyladenine فقد وجد أن ذرة الاكسجين فى هذه الحالة لا تقلل من كفاءة المركب كسيتوكينين.

٣ ـ وقد وجد أن عمل رابطة مزدوجة فى السلسلة الجانبية لا يقلل من كفاءة السيتوكينين بل قد يزيد النشاط.

٤ ـ وقد وجد أن أضافة حلقة بنزين لهذه السلسلة الجانبية كما فى مركب بنزيل أدينين benzyladenine فأن هذه الحلقة تزيد من كفاءة المركب بقدر كبير حيث أنه من المعروف أن مركب zeatin وهو سيتوكينين طبيعى من أكفأ المركبات الطبيعية فى نشاطها كسيتوكينين ولكن وجد أن مركب بنزيل أدنين أكثر كفاءة من zeatin لوجود حلقة البنزين.

٥ ـ وقد وجد أن أضافة سكر الريبوز إلى zeatin يعطى مركبzeatinriboside أو أضافة سكر ريبوز وحامض فوسفوريك إلى zeatin يعطى مركبzeatinribotide فأن ذلك يقلل من كفاءة الـ zeatin.

٦ ـ وقد وجد أن أدخال مجموعة ميثيل أو مجموعة أمين إلى مركب الادنين يقلل من كفاءة المركب. أما أدخال مجموعة ايدروكسيل OH للمركب فأنه يمنع نشاطه تماماً كسيتوكينين.

٧ ـ ومن المعروف أن الغالبية العظمى للسيتوكينينات يدخل فى تركيبها الادنين ولكن وجد أيضاً بعض من المركبات وهى سيتوكينينات صناعية لا يدخل فى تركيبها الادنين على الاطلاق مثل مركب كلورفينيل فينيل يوريا chlorophenylphenyl urea ومركب فلوروفينيل بيوريت flourophenylbiuret ومركب بنزيل أمينو بنزيميدازول benzylaminobenzi midazole ومركب benzthiazolyloxyacetic acid.

أماكن وجود وتخليق السيتوكينينات:

توجد السيتوكينينات فى الخلايا إلا أنها توجد بتركيز عالى فى الحبوب والثمار الصغيرة السن وأيضاً البذور غير الناضجة، وتوجد فى الجذور وفى بعض افرازات الجذور. أما عن أماكن تخليقها فأنه من الثابت أن قمم الجذور تعتبر هى أماكن تخليق السيتوكينينات ويمكن أن تكون الثمار والبذور. يوجد zeatin فى حبوب الذرة الشامية غير الناضجة أى الصغيرة السن وأيضاً فى إفرازات جذور root exudates نبات عباد الشمس وأوراق نبات البيجونيا *Begonia* وراشح الفطر culture filtrate ريزوبس *Rhizopus roseus* يوجد أيضاً zeatin riboside فى النباتات. حيث يوجد ribofuranosyl فى لبن جذور الهند كما يوجد مركب dihydrozeatin فى بذور الترمس الأصفر yellow lupin.

يمكن أن يوجد السيتوكينين كجزء مكمل لجزيئ RNA الناقل وليست فى صورة حرة منفردة وفى هذه الحالة يوجد فى صورة مركب isopentenyl adenine (IPA)والذى يسمى أيضا بأسم dimethylallylamino purine (DMAA). توجد هذه الحالة فى جزيئ RNA الناقل فى الخميرة والبسلة والذرة ونباتات أخرى. يعتبر هذا المركب مشابه تماما فى تركيبه لمركب zeatin ولكنه يختلف عن المركب الأخير فى نقص مجموعة إيدروكسيد.

أمكن تخليق مركب سيتوكينين فعال وهو methylbutenylamino purine وبعد ذلك وجد هذا المركب فى راشح البكتريا *Corynebacterium fascians* المسببة لمرض التورم والتفلطح فى بعض النباتات.

توجد السيتوكينينات فى راشح البكتريا *Agrobacterium tumefascians* المسببة لمرض التدرن التاجى فى كثير من النباتات مثل العنب والتفاح والكمثرى والخوخ وعباد الشمس كما توجد فى حالة البكتريا *Rhizobium japonicum* المسببة لتكوين العقد الجذرية.

يمكن أن يحمل جزيئ RNA الناقل فى البكتريا *E.coli* هورمون السيتوكينين.

توجد السيتوكينينات بكثرة فى النباتات الراقية . توجد فى جنين وأندوسبرم البذور أثناء تكوينها والمرستيمات القمية والعقد الجذرية بتركيزات كبيرة نسبيا ويقل التركيز كلما زاد عمر عضو النبات أو النسيج. وفيما يلى فى الجدول (رقم ٨) بعض النباتات التى تحتوى هذا الهورمون.

(جدول ٨) : أمثلة لبعض النباتات تحتوي هورمون السيتوكينين

النبات	العضو أو النسيج أو الجزء النباتي
التفاح والبرقوق	الثمار
Ginkgo biloba	النبات الجاميطي المؤنث female gametophyte
البسلة	البادرة
عباد الشمس	إفرازات الجذور
التبغ	خلايا الكمبيوم والأنسجة المتدرنة tumor tissue
الطماطم	عصير الثمار

كيفية انتقال السيتوكينيات:

تختلف السيتوكينينات عن الأوكسينات والجبريللينات فى أنها غير قابلة للحركة الذاتية immobile ولكنها تتحرك أساسا فى نسيج الخشب ابتداء من الجذور فى تيار النتح وتتوزع فى نسيج الخشب فى جميع أجزاء النبات أى أنها تحمل فى تيار النتح

الموجود داخل النبات أى أن حركتها سلبية . وقد أمكن إثبات ذلك فعند حدوث الإدماء bleeding فى حالة ساق نبات العنب فقد وجد أن السائل المائى الناتج من الإدماء يحتوى فعلا على كمية كبيرة نسبيا من السيتوكينينات. وجد أن معاملة أوراق الفاصوليا بواسطة قطرات من محلول بنزيل أدنين مشع وفيه الإشعاع فىْ ذرة الكربون فإن هذا المركب لا ينتشر فى أنسجة الورقة بل يظل محدود فى حركته ويوجد فى مكان القطرة فقط localized.

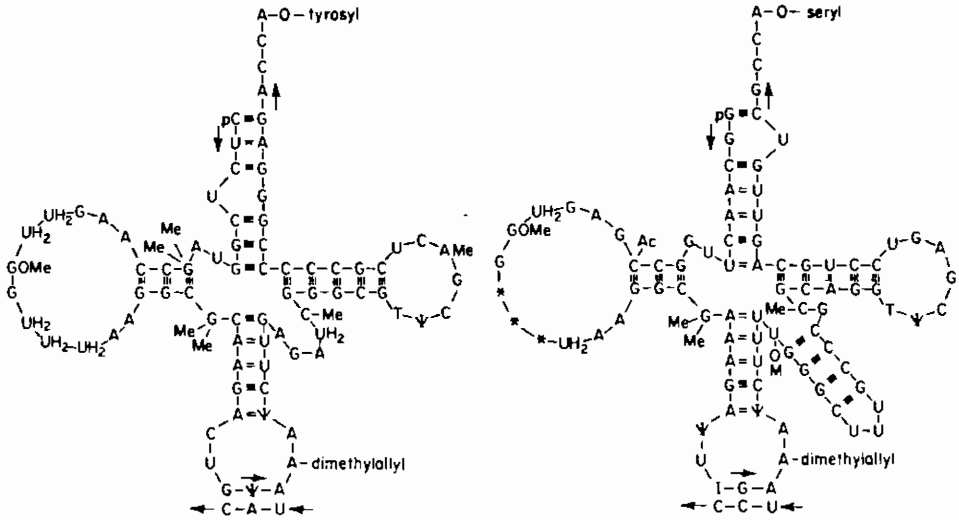
والإدماء هو عبارة عن ظاهرة تساقط وظهور قطرات مائية بعد قطع الساق وخاصة فى منطقة قريبة من سطح التربة. وهذا السائل يخرج من الساق المقطوع من نسيج الخشب ويستمر فى اندفاعه على السطح المقطوع وأن مصدر هذه العصارة والماء الناتج هو نتيجة للضغط الجذرى حيث أنه من المعروف أن صعود العصارة فى النبات هى أساسا للقوة الناشئة عن النتح إلا أن للضغط الجذرى أيضا دور فى صعود العصارة بسيط نسبيا وإلى إرتفاع بسيط ولذلك لا تظهر ظاهرة الإدماء إلا عند قطع ساق النبات على إرتفاعات منخفضة من سطح التربة.

كيفية تكوين السيتوكينين في النبات:

من المعروف أن السيتوكينين فى النبات ينتج عن تحلل بعض الأحماض النووية ولكن وجد أن تركيزه فى النباتات يكون أكبر بكثير من سرعة تحلل الأحماض النووية لتكوين السيتوكينينات. ولذلك فإنه من المعروف أنه توجد طرق أخرى لتخليق السيتوكينينات غير معروفة بالضبط. وقد وجد أن الداى ميثيل أليل أدنين DMAA يتحول إلى zeatin فى وجود فطر عفن الخبز. وكما سبق القول وحتى الآن الطرق السليمة الواضحة لتخليق السيتوكينينات غير معروفة الآن بالتفصيل وبالتأكيد.

ويوجد دليل آخر على كيفية التخليق حيث وجد أنه بأستعمال حامض mevalonic مشع فإن الأشعاع يظهر فى جزيئ RNA الناقل الموجود فى داخل خلايا بكتريا *Lactobacillus* المعاملة. يعتقد أن الإشعاع فى السلسلة الجانبية لهذا الجزيئ الناقل وهى عبارة عن مركب DMAA. كما وجد أنه يمكن إدخال حامض

mevalonic فى تركيب مركب DMAA فى مزارع الأنسجة لنبات التبغ. كما وجد أيضا أنه أمكن إدخال مركب DMAA فى جزيئ RNA الناقل. وقد أمكن عمل الخطوة الأخيرة بواسطة تحضيرات أنزيمية enzyme preparation. ولكن إرتباط DMAA بجزيئ الناقل RNA قد يثبت أو لا يثبت تخليق السيتوكينينات. أى لا يثبت كيفية تخليق السيتوكينينات الحرة (شكل ١٢٨).



(شكل ١٢٨): RNA ناقل للسيرين والتيروسين. يلاحظ وجود مركب سيتوكينين داي ميثيل أليل أدينين عند قاعدة RNA.

ولا زالت الطريقة الصحيحة لتخليق السيتوكينينات غير واضحة لكن توجد ثلاث طرق أو نظريات أو إتجاهات فى كيفية تخليق السيتوكينين وهى كما يأتى:

الطريق الأول: التخليق الحيوي عن طريق tRNA -tRNA Biosynthesis via:

توجد أنواع عديدة من tRNA تحتوى سيتوكينينات ويمكن أن تكون مصدر للسيتوكينين الحر عند تحولها أوتحللها turnover ولكن لا يمكن أن يكون ذلك هو الطريق الوحيد لتخليق السيتوكينينات الحرة لأسباب عديدة وهى ما يأتى:

أ ـ أن مزارع الأنسجة التى تحتاج إلى مصدر سيتوكينين خارجى أى لابد من إضافة سيتوكينين إلى البيئة النامى عليها النسيج وجد أن هذه الأنسجة تحتوى على tRNA يحتوى سيتوكينينات.

ب ـ أن بعض السيتوكينينات الحرة فى النبات لا يوجد لها مثيل ملتصق بالـ tRNA أو يكون من محتويات RNA.

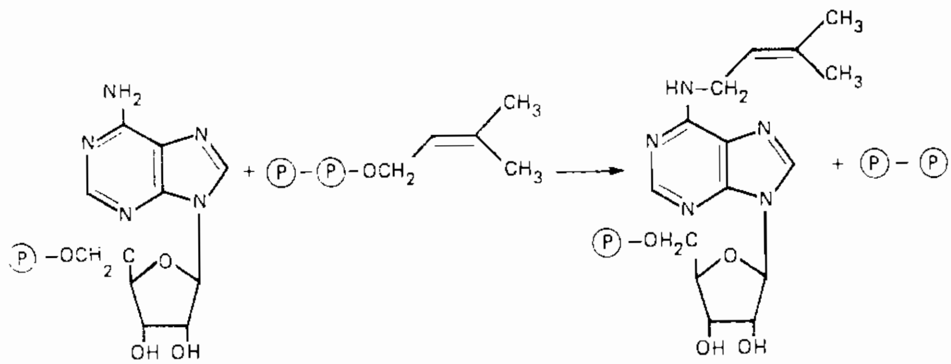
جـ ـ وجد أن مشابه الزيتين فى tRNA النبات له سلسلة جانبية تكون من النوع *cis* والعكس صحيح فى حالة السيتوكينين الحر فى النبات حيث تكون السلسلة الجانبية من النوع *trans* .

د ـ وجد أن سرعة إشتقاق ك١٤ من الأدنين وإرتباطه مع zeatin ribosideفى أورام مرض التدرن التاجى فى نبات الونكا *Vinca rosae* تكون عالية جدا ولا يمكن أن تكون نتيجة تحول أو تحلل tRNA - tRNA turnover

الطريق الثانى: التخليق الحيوى من جديد De novo - De novo biosynthesis:

توجد أدلة كثيرة على أن أنسجة النبات تحتوى أنزيمات قادرة على تخليق سيتوكينين حر . وقد أمكن عزل مجموعة من البروتينات من أنسجة نبات تبغ قادرة على تخليق السيتوكينين وقد أمكن التعرف على أنزيم من هذه البروتينات وهو أنزيم.

Δ^2 - isopentenylpyro phosphate: AMP - Δ^2 - isopentenyltransferase - يقوم هذا الأنزيم بتحويل -AMP (adenosine monophosphate) ومركب isopentenylpyrophosphate إلى مركب isopentenyl adenosine -5- monophosphate وبيروفوسفات. يعتبر هذا التفاعل هو المدخل فى التخليق الحيوى للسيتوكينين (شكل ١٢٩).



(شكل ١٢٩) : تفاعل بين 5-AMP وبين المركب isopentenylpyrophosphate لأنتاج i6A-5- monophosphate وبيروفوسفات

ويعتبر هذا التفاعل الأساسي والمدخل key step في تكوين السيتوكينين. يحدث ذلك التفاعل بواسطة أنزيم Δ^2 isopentenylpyrophosphate: AMP - Δ^2 - isopentenyltransferase

الطريق الثالث: تخليق حيوى للسيتوكينين فى tRNA

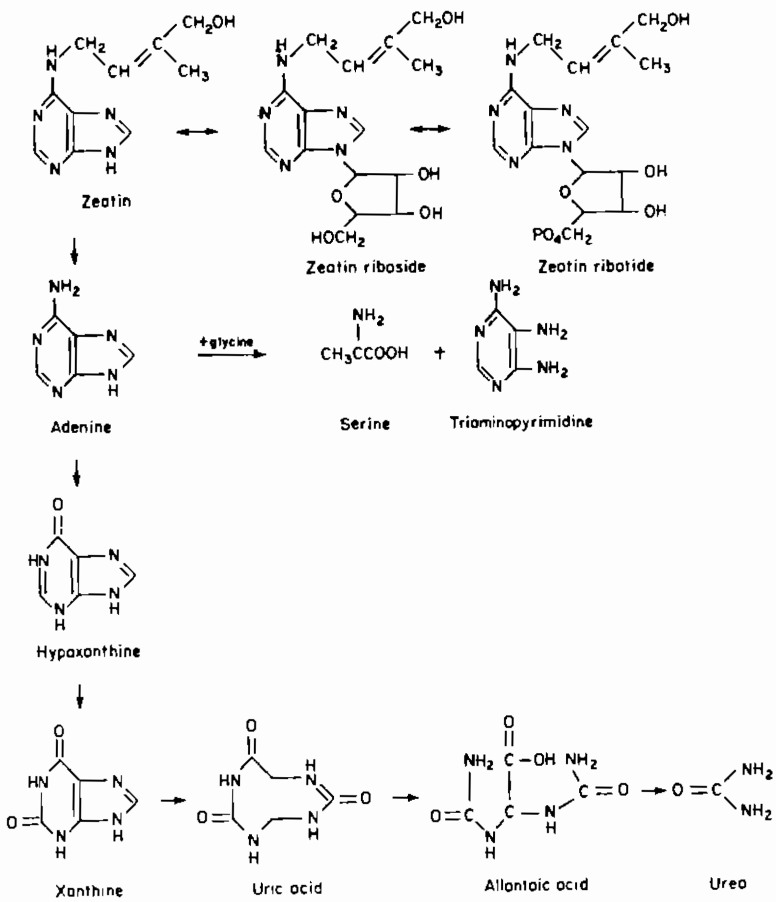
Biosynthesis of cytokinins in -tRNA

عند معاملة أنواع tRNA المحتوية على سيتوكينين بواسطة محلول برمنجنات فإنه ينتج عن ذلك تحطيم السلسلة الجانبية وهى عبارة عن isopentenyl ويتبقى أدينين فقط فى tRNA. أستعمال تحضيرات غير نقية من الأنزيمات crude enzyme preparations المستخلصة من الخميرة أو كبد الفأر أو نخاع ساق نبات التبغ فإنها تسبب إعادة إرتباط هذه السلسلة الجانبية بالأدينين الموجود فى tRNA.

كيفية هدم أو تثبيط السيتوكينينات Degradation or Inactivation of cytokinins:

يمكن التخلص من زيادة تركيز السيتوكينينات بالهدم أو معادلة تأثيرها أى منع نشاطها . وفى حالة الهدم فإنه وجد أن السلسلة الجانبية يمكن أن تنفصل بسهولة عن الأدينين بواسطة الأكسدة الضوئية photooxidation أو فى وجود حامض.

يتحول الأدينين بواسطة زانثين أوكسيديز xanthine oxidase إلى حامض اليوريك uric acid ثم يتحول الأخير إلى allantoic acid ثم يوريا. يوجد تفاعل آخر هو أن تتأكسد ذرة الكربون رقم ٨ وتنفصل عن الجزيء ليتكون مركب triaminopyrimidine وتتفاعل هذه الذرة المؤكسدة مع الحامض الأميني جليسين لتكون الحامض الأميني سيرين. (شكل ١٣٠). أمكن إثبات ذلك بواسطة آستعمال benzyladenine مشع.



(شكل ١٣٠): خطوات تحول وهدم الزيتين.

وفى حالة معادلة التأثير فإنه أمكن إثبات وجود glycosides للسيتوكينينات ومثال ذلك جليكوسيد البنزيل أدينين glycoside of benzyladenine وأيضا زيتين جلوكوسيد 7-glucoside of zeatin . ونتيجة للأرتباط بين السيتوكينينات والسكريات لتكوين الجليكوسيدات فإن المركبات الأخيرة تصبح غير نشطة فسيولوجيا وبذلك يحدث معادلة لنشاط السيتوكينين. ومن المعروف أيضا أن بحدوث تحليل hydrolysis لهذه المركبات فى وجود حامض أى acid hydrolysis يتكون سيتوكينين حر نشط. تعتبر هذه الحالة inactivation.

يمكن تكوين مركبات أقل فاعلية فى نشاطها الفسيولوجى بالمقارنة بالزيتين وهى zeatin ribosideوzeatin ribotide . حيث يرتبط الزيتين بسكر الريبوز أو سكر الريبوز وحامض الفوسفوريك (شكل ١٣٠).

يمكن أن يرتبط السيتوكينين بجزيئ RNA ناقل وبالتالى يفقد نشاطه .

طرق أستخلاص السيتوكينينات:

يمكن تصنيف السيتوكينينات تبعا للحالة التى توجد عليها إلى مايأتى:

١- سيتوكينين حر Free cytokinin:

وفى هذه الحالة يكون جزيئ السيتوكينين منفرد أى حر وغير مرتبط بأى جزيئ آخر . يمكن فصله فى هذه الحالة بواسطة الأنتشار على طبقة آجار أو جيلاتين. ولكن من المعروف أن قدرة السيتوكينينات على الحركة والإنتشار أو الإنتقال ضعيفة جدا . وهذه الطريقة مثار للجدل . ولذلك لا تستخدم هذه الطريقة .

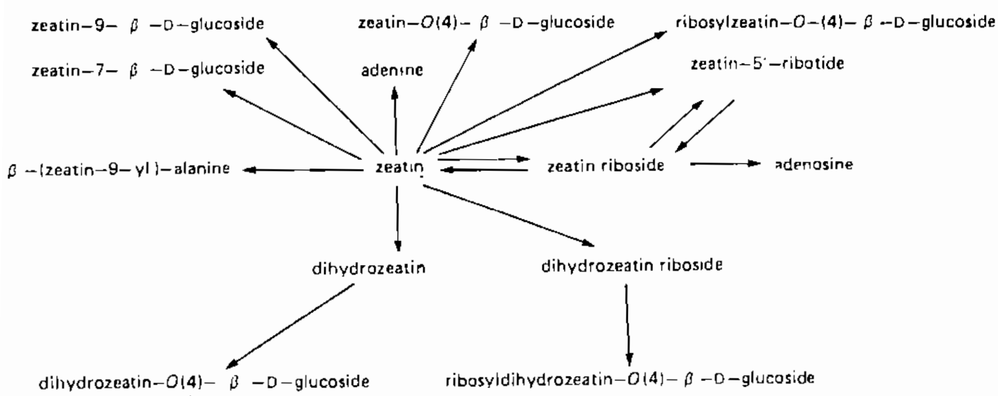
٢- سيتوكينين مقيد Bound cytockinin:

وفى هذه الحالة يكون جزيئ السيتوكينين مرتبط بمكون أو جزء آخر فى الخلية ويصعب فصله بالطريقة السابقة ولذلك لابد أن يكون الأستخلاص بالمذيبات العضوية مثل كحول الإيثيل . كثير من السيتوكينينات المستخلصة من النباتات الراقية

قد تم الحصول عليها بهذه الطريقة. حيث يتم إستخلاص RNA الريبوسومى sRNA ثم يتم تحليل المستخلص hydrolysis السابق ويتم الحصول على مكونات fractions مختلفة ومنها مكون رئيسى هو عبارة عن RNA ناقل. يوجد مع بعض أنواع tRNA سيتوكينين مرتبط به وبعملية تحليل أخرى يمكن فصل السيتوكينين عن RNA. بعض أنواع tRNA تحتوى على سيتوكينين وعند تحولها أو تحللها tRNA turnover يتكون منها سيتوكينين حر.

التحول الغذائى للزيتين Zeatin metabolism:

يدخل الزيتين فى تفاعلات عديدة كما يمكن أن يحدث إرتباط الزيتين بمركبات أخرى conjugation. وهذه التفاعلات كما يأتى (شكل ١٣١):



(**شكل ١٣١**): خطوات تحول Zeatin إلى المركبات المختلفة.

١ - تغيير تركيب السلسلة الجانبية Side-chain modificatin

يمكن تحويل السلسلة الجانبية فى i6Ade وأيضاً فى i6A بواسطة أدخال مجموعة OH stereospecifically hydroxylated ويصبح trans-zeatin وأيضاً trans-zeatin riboside على التوالى. وجد أن هذا التفاعل يحدث فى كثير من الأنسجة النباتية.

يعتبر هذا التفاعل شائع فى النباتات التى تنتج مركبات شبيهة بالزيتين zeatin-like cytokinins وتعتبر الخطوة الأخيرة فى التخليق الحيوى لمركب zeatin-5- mono .phosphate

ويحدث العكس فى حالة tRNA الذى يحتوى سيتوكينين حيث يتم تحويله إلى المشابه الآخر cis-zeatin riboside. يتم التحويل فى جميع الحالات السابقة بواسطة عملية stereospecifcally hydroxylation.

يمكن أن يكون تحويل السلسلة الجانبية للزيتين عن طريق عملية إدخال إيدروجين أى عملية الهدرجة hydrogenation للروابط الغير مشبعة فى السلسلة الجانبية وفيها يتحول الزيتين إلى dihydrozeatin. تحدث هذه الحالة فى جنين بذور الفاصوليا وأيضاً فى الأوراق البالغة لنفس النبات .

قد يكون لهذا التحول أهمية وهو حماية الجزيئ من فصل السلسلة الجانبية عنه.

٢ ـ فصل السلسلة الجانبية Side-chain cleavage

وجد أن الأدنين والأدينوسين يعتبران من نواتج التحول الغذائى لكثير من الأنسجة أو الأجزاء المعاملة بالسيتوكينين. وجد أن أنزيم يحولi6A إلى أدينوسين وذلك بكسر السلسلة الجانبيةisopentenyl ويوجد هذا الأنزيم فى نسيج نخاع ساق التبغ . وجد أنزيم مشابه أمكن عزله وتنقيته من حبوب الذرة الشامية وقد وجد أن هذا الأنزيم له نشاط كبير فى تحويل كثير من السيتوكينينات الطبيعية مثل zeatin, i6A, i6Ade riboside . كما وجد أن هذا الأنزيم لاينشط إلا فى وجود سلسلة جانبية من isopentenyl .

أى أن مركبات السيتوكينين التى ينقصها هذه السلسلة لايعمل عليها هذا الأنزيم. وحيث أن هذا الأنزيم يحتاج إلى الأوكسجين الجزيئ لعمل هذا التفاعل فيسمى سيتوكينين أوكسيديز cytokinin oxidase . وحيث أن السلسلة الجانبية هامة وضرورية لنشاط السيتوكينين فإن هذا الأنزيم يكون هام فى التحكم فى تركيز

السيتوكينين فى داخل الأنسجة النباتية حيث أنه يقلل من تركيز السيتوكينين عند الضرورة . وجد أن الأنسجة التى تحتوى على سيتوكينين بتركيز عال مثل حبوب الذرة الشامية وورم التدرن التاجي فى الونكا تحتوى أيضا على تركيز عال من هذا الأنزيم . يظهر نشاط هذا الأنزيم سريعاً عندمعاملة هذه الأنسجة بواسطة سيتوكينين مشع . وجد أن معاملة نسيج وورم التدرن التاجى فى الونكا خارجياً بواسطة زيتين مشع فيه الإشعاع فى ك١٤ أن جزء كبير جداً من هذا الزيتين تحول إلى أدينين ومشتقاته وأن جزء قليل من هذا الزيتين يستعمل بواسطة هذا النسيج كسيتوكينين. غير معروف حتى الآن بالضبط دور هذا الأنزيم وتكوين أو تخليق السيتوكينينات endogenous cytokinins turnover.

٣- إرتباط السيتوكينين Cytokinins conjugation :

يحدث إرتباط السيتوكينين بالسكريات بكثرة وخاصة الجلوكوز والريبوز. عزلت بكثرة من أنسجة نباتية مركبات

9- ribosides and ribosyl-5- monophosphates of cytokinins. توجد أنزيمات كثيرة يمكنها فصل ribosides وأيضا ribosyl-5-monophosphates المرتبطة مع السيتوكينين. وجد أن السيتوكينينات يمكن أن تتحول إلى nucleoside di and tri-phosphates فى مزارع الأنسجة لخلايا التبغ والجميز cell suspension cultures.

تعتبر glucosides من مرتبطات السيتوكينينات الطبيعية أو التركيبية الهامة. أمكن عزل المرتبط السيتوكينين 7-B-D-glucopyranoside والمرتبط مع الزيتين عند معاملة بادرات فجل بواسطة زيتين مشع به ^{3}H. أمكن أيضا عزل i6 Ade glucoside من خلايا نبات التبغ نامية على ^{14}C-i6 Ade.

وجد المرتبط مع الزيتين المركب 9-B-D-glucopyranoside كناتج للتحول الغذائى metabolite لمركب زيتين مشع ^{3}H-Zeatin معامل به الجذور وأيضا مزارع الأجنة embryo cultures وبادرات الذرة الشامية.

وجد أيضا أن السيتوكينين التركيبى benzyladenine يتحول إلى المرتبط الجليكوسيدى 7,9 and 3-B-Dglucopyranoside فى بادرات الفجل. أمكن عزل وتنقية إنزيم جزئيا من فلقات الفجل يسبب تكوين مركب زيتين 7-B-Dglucopyranoside وذلك من زيتين و UDPglucose.

وجد أيضاً أن مجموعة الأيدروكسيد فى السلسلة الجانبية للزيتين قابلة للأرتباط مع الجلوكوز . أمكن تكوين zeatin - 0(4) - glucoside من معاملة نسيج كالس لفول الصويا بزيتين مشع. وجدت أيضا نفس الحالة فى أوراق الحور *Populus alba* والفاصوليا . علاوة على ذلك وجد فى الأنسجة المذكورة تشبع للسلسلة الجانبية لتكوين ribosyl dihydrozeatin-0(4)-glucoside فى أوراق الحور وتكوين dihydrozeatin-0(4)-glucoside فى أوراق الفاصوليا.

وجد أن إضافة زيتين إلى بادرة *Lupinus augustifolius* يسبب حدوث إرتباط مع حامض أمينى ويتكون B-(zeatin-9-yl)- alanine.

تعتبر cytokinins conjugates أشكال من مركبات لتخزين السيتوكينينات و/ أو نقل السيتوكينينات storage and/or transported forms of cytokinins.

طريقة عمل السيتوكينينات في النباتات:

The mode of action of cytokinins

توجد أربعة احتمالات عن ميكانيكية تأثير السيتوكينينات على النباتات وحتى الآن لم يثبت صحة أى منها بالدليل القاطع وهذه الأحتمالات هى :

١ ـ عوامل الأرتباط بالسيتوكينين Cytokinin - binding factors

يعتقد أن السيتوكينين يرتبط بجزيئات متخصصة مستقبلة specific receptor molecule وبعد ذلك يصبح قادر على إظهار نشاطه . تعتبر هذه النظرية أو هذا الإحتمال عام بالنسبة لمنظمات النمو ومنها على سبيل المثال الأوكسينات أيضا.

ولكن للأسف أجريت كثير من التجارب فى هذا الموضوع ولم يمكن لأى تجربة منها إثبات ذلك بدليل قاطع . حيث وجد فى بعض هذه التجارب أن بعض أنواع من البروتين على درجة عالية من الجذب للسيتوكينين high-affinity cytokinin-binding proteins ولكن لسوء الحظ لم يكن لهذه السيتوكينينات المرتبطة البروتين أى نشاط فسيولوجى أى أنها عديمة التأثير وفيما يلى أمثلة لبعض هذه البروتينات . أمكن عزل بروتين من أجنة القمح ووجد أن له درجة إرتباط عالية مع البنزيل أدينين benzyladenine . وجد أيضاً بروتين كما فى البروتين السابق germ فى القمح ووجد أن الوزن الجزيئى للبروتين حوالى ١٨٣ ألف دالتون ribosomes ويتكون من أربع تحت وحدات subunits . وجد أيضاً عامل إرتباط binding factor ذو درجة إرتباط عالية مع البنزيل أدينين ($Kd1.4x10^{-7}M$) فى نسيج كالس التبغ tobacco callus وأيضاً فى بروتونيما النبات الحزازى القائم فيونازيا *Funaria hygrometrica* . وجد أيضاً حديثاً نسبياً عام ١٩٨١ وجود عامل إرتباط وجذب عال فى أجزاء من ناتج تحلل الميتوكوندريا mitochondrial fraction للبنزيل أدينين ($Kd1x10^{-8}M$) فى بادرات نوع معين من الفاصوليا *Phaseolus aureus* تسمى mung bean .

وكما سبق القول فإن جميع عوامل الإرتباط السابقة لا تعتبر مستقبلات للسيتوكنينين cytokinin receptors لأن إرتباط السيتوكينين بها يفقده نشاطه تماما وكلياً . وعلاقة هذه عوامل الإرتباط بالسيتوكنينين تحتاج إلى تفسير.

٢ ـ التحكم فى النسخ والترجمة Control of transcription and translation

توجد بعض منظمات النمو تتحكم فى تنظيم تخليق البروتين وذلك عن طريق التحكم فى عملية النسخ والترجمة للـ mRNA . وجد فى بعض التجارب أن السيتوكينين يسبب ترجمة لبعض من mRNA الغير مترجم وذلك بربطه بالريبوسومات لتكوين عديد الريبوسومات polysome وبذلك يساعد فى تخليق

البروتين. ولكن وجدت تجارب تثبت عكس ذلك أن السيتوكينين يسبب تنشيط تكوين عديد الريبوسومات ولكن هذا التأثير غير متخصصnon specific وقد لايسبب تنشيط تكوين عديد الببتيدات . عامة يعتقد أن للسيتوكينين دور فى تخليق البروتين فى الأوراق .

٣ ـ نقل الأيونات **Ion transport**

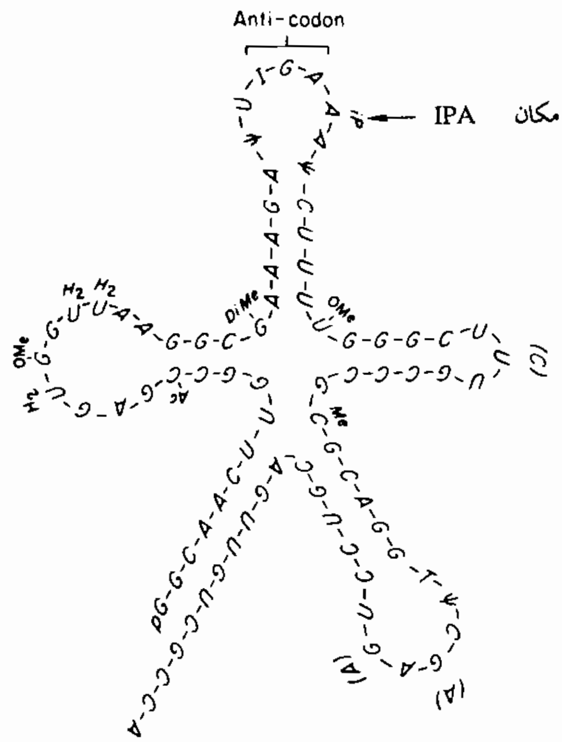
وجد علاقة بين نفاذية أو طرد أوإخراج البروتون proton extrusion وإستطالة الخلية وذلك فى وجود السيتوكينينات. ولكن وجد أيضاً أن إستطالة الخلية ترجع إلى عوامل عديدة وليست فقط لعامل واحد وهو طرد البروتونات وذلك فى فلقات البطيخ المنزوعة.

٤ ـ السيتوكينينات في **Cytokinins in tRNA-tRNA**

حيث أن السيتوكينينات الطبيعية يكون لها علاقة بالأحماض النووية أو مشتقة منها حيث أمكن إثبات ذلك فى حالة مركب الكينيتين حيث أن ينتج من تحلل الـ DNA. من كل هذه التجارب يتضح أنه يوجد علاقة بين السيتوكينينات والأحماض النووية. ولذلك إتجه العلماء إلى دراسة وتفسير العلاقة بين هذه المركبات والأحماض النووية وقد وجد أن ناتج التحلل لـــ DNA لكثير من الكائنات الحية سواء فى النباتات الراقية والكائنات الدقيقة مثل الخميرة والبكتريا *E.coli* والسبانخ والبسلة وغيرها من المصادر. فقد وجد أن Transfer RNA الناقل (tRNA) و Messenger RNA الرسول (mRNA) و Ribosomel RNA الريبوزومى (sRNA). فقد وجد أن RNA الناقل فى حالة تحلل RNA الخميرة و *E.coli* يوجد فيه مركب طبيعى عرف كسيتوكينين وكجزء مكمل للأحماض النووية وللنواة واسمه Isopentenyl-adenosine ويعتبر هذا أول مركب وجد كجزء مكمل للأحماض النووية من نوع الايزوبنتنيل أدينوزين RNA وبالذات tRNA وذلك من ناتج تحلل RNA الخميرة ثم عزل نفس المركب من ناتج تحلل RNA من السبانخ والبسلة

وبعد ذلك وجد أيضاً أنه يوجد علاقة كبيرة بين zeatin riboside وبين tRNA الموجودة فى ناتج تحلل حبوب الذرة السكرية الغير ناضجة. مما سبق يتضح أن هذه السيتوكينينات تكون مرتبطة عادة وأساساً مع tRNA ولاتوجد مع mRNA .

وقد وجد أن tRNA لبعض الأحماض الأمينية يحتاج إلى مركب سيتوكينين والبعض الاخر لا يحتاج . فمثلاً فى حالة tRNA للحامض الأمينى سيرين والحامض الامينى تيروسين والحامض الأمينى أيزوليوسين تحتاج إلى مركب سيتوكينين وهو أيزوبنتنيل أدينوزين IPA (شكل ١٣٢) وهو الداى ميثيل الايل أدينين DMAA

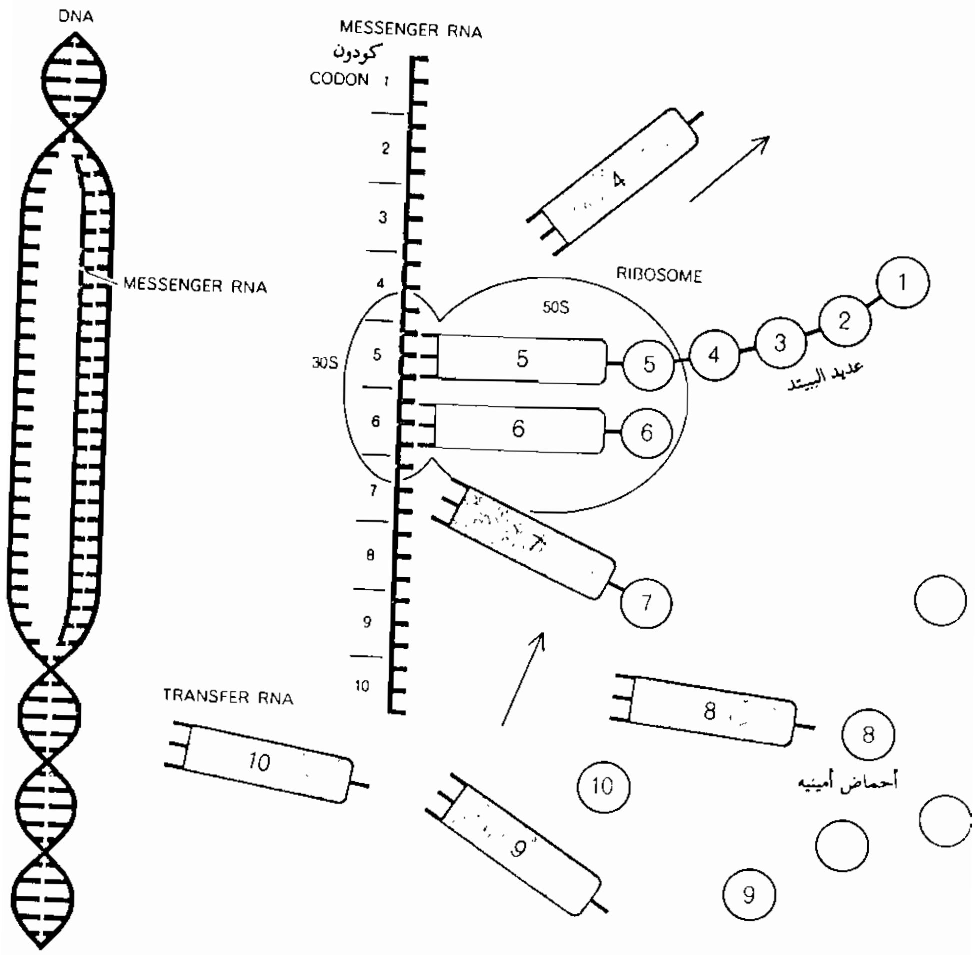


(شكل ١٣٢) : تركيب tRNA الخاص بالحامض الأمينى سيرين. يوضح مكان ألتصاق مركب السيتوكينين IPA.

(شكل ١٢٨). وفي حالة tRNA للحامض الاميني ارجينين وفالين وجليسين وفينيل ألانين لا يتكون أو لا يحتاج إلى مركب سيتوكينيني. .أما أهمية المركب السيتوكينيني لـ tRNA فأنه لابد من وجوده لكي يحدث ارتباط بين مضاد الكودون tRNA anticodon والجزء المخصص له على كودون mRNA. ولفهم أو شرح ذلك سنشرح بطريقة مختصرة طريقة تكوين البروتين.

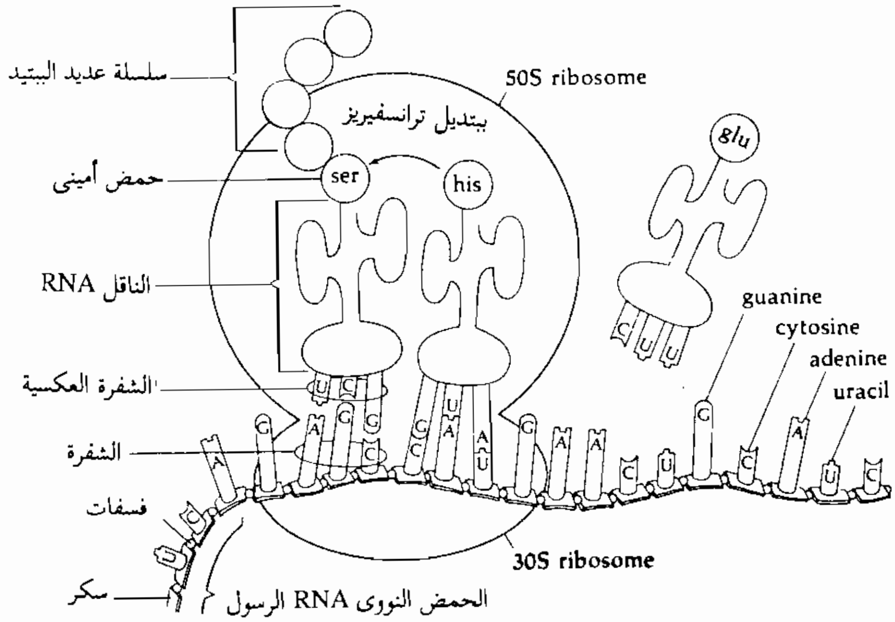
فمن المعروف أن mRNA يتكون من DNA ثم ينفصل عن DNA ويرتبط بالريبوسومات ribosomes حيث يخترق الـ sub unit الصغيرة لكل ريبوسوم وهو يخترق بذلك عديد من الريبوسومات مسبباً ربطها ببعض وتسمى عديد الريبوسومات polyribosomes (شكل ١٣٣) واختراق mRNA للريبوسومات كما يحدث لاختراق الفتلة في العقد أو السبحة.

أما عن tRNA فهي تختلف باختلاف الاحماض الامينية ، وكل حامض أميني له tRNA خاص به و tRNA يتكون أساساً من ارتباط قواعد نيتروجينية نووية مثل الادينين واليوراسيل والجوانين والسيتوسين. وترتبط هذه القواعد لتكون شكل tRNA وهو في مجموعة شكل له أذرع عديدة كما في الشكل. وكما في الرسم يكون له قاعدة تتكون من ثلاث قواعد، وتسمى هذه القواعد بالـ anticodon، وهذه الثلاث قواعد ترتبط بالثلاث قواعد الأخرى المكونة والموجودة على mRNA . وهذه الثلاث قواعد الموجودة على mRNA تسمى بالـ codon (شكل ١٣٤) و mRNA يتكون أيضاً من قواعد مرتبطة ببعضها الا أنه خيطي الشكل وكل ثلاث قواعد متتابعة تسمى بالـ codonو tRNA يحمل في قمته الطرفية الحامض الأميني الخاص به، وبعد ذلك يتحرك الريبوسوم على الخيط mRNA ليحل على codon آخر مناسب لـ tRNA آخر. وفي هذه الحالة يحدث ربط بين الحامض الاميني للـ tRNA الأول والحامض الاميني للـ tRNA الثاني بواسطة رابطة ببتيدية peptide linkage ثم يتحرك الريبوسوم مرة أخرى على mRNA ليستقبل tRNA ثالث ويكون فيه توافق وارتباط



(شكل ١٣٣) : خطوات تكوين mRNA وعديد الببتيد.

أشتقاق mRNA من DNA ثم تكوين عديد الريبوسومات ثم تخليق سلسلة عديد الببتيد فى وجود tRNA.



(شكل ١٣٤) : تخليق عديد الببتيد لتكوين البروتين.

بين الـ anticodon والـ codon وينتج عن لك حامض أمينى ثالث وهكذا تتكرر العملية مرات عديدة ليتكون سلسلة من الاحماض الامينية مرتبطة ببعضها ليتكون منها بعد ذلك مركب البروتين.

وبعد تحرك الريبوسوم على mRNA وبعد تسليم tRNA الحامض الامينى الخاص به وتكوين رابطة ببتدية فأنه ينفصل عن mRNA ويصبح حر فى سائل الخلية ليرتبط مرة أخرى بالحامض الامينى الخاص به ويرتبط مرة ثانية بالـ mRNA فى وجود الريبوسوم. وهكذا بتكرار هذه العملية باستمرار ولمرات عديدة لجميع أنواع tRNA فينتج عن ذلك تكوين عديد الببتيد polypeptide ومنه يتكون البروتين.

وأمكن أثبات حدوث هذا التخليق بالتفصيل فى خلايا البكتريا وبوضوح تام. الا أنه فى حالة النباتات الراقية يتعذر اثباتها بطريقة حاسمة، الا أنه فى بعض النباتات مثل

القمح أمكن اثبات بعض هذه الخطوات ولكن من الواضح أن ميكانيكية تأثير وعمل السيتوكينينات فى النباتات الراقية (الزهرية) تماثل تماماً ما سبق شرحه بالرغم من عدم اثباتها بالتفصيل فى هذه النباتات.

طرق الكشف عن السيتوكينينات:

توجد طرق حيوية تستخدم فيها أجزاء نباتية وطرق كيماوية .

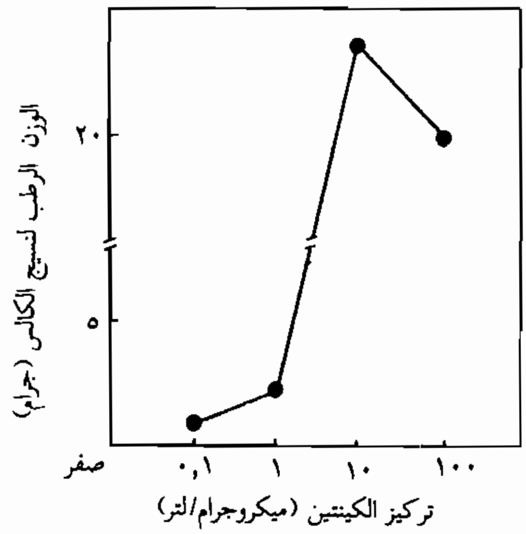
اولاً : الطرق الحيوية Bioassay ومنها مايأتى

١ - إختبار نخاع التبغ Tobacco Pith Test

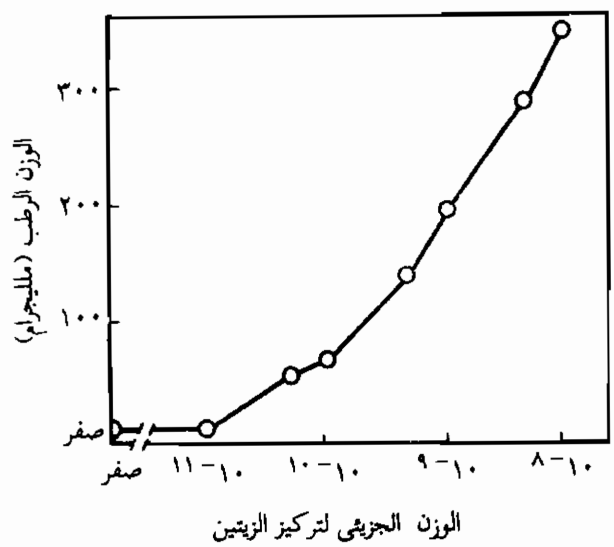
تعتبر هذه الطريقة هى الأساس فى أكتشاف الكينتين وأيضاً الأدنين والأدنين ريبوسيد. حيث أن كل تجارب سكوج وميللر Skoog and Miller وآخرون لأكتشاف السيتوكينينات تجرى بهذه الطريقة.

يسبب السيتوكينين إنقسام خلايا نخاع ساق التبغ وأيضاً نسيج كالس فلقات فول الصويا ولذلك يزداد الوزن الجاف والرطب لهذه الأنسجة. يمكن رسم العلاقة بين تركيز الزيتين وأيضاً الكينتين ووزن النسيج بعد مدة تتراوح بين أسبوعين إلى شهر حيث يزداد وزن النسيج بزيادة التركيز . يتراوح التركيز فى حالة الزيتين بين ١٠ $^{-٨}$ إلى ١٠ $^{-١١}$ من الوزن الجزيئى وفى حالة الكينتين بين ١ ـ ١٠ ميكروجرام لكل لتر (شكل ١٣٥ و ١٣٦).

يتم زراعة نسيج كالس نخاع الدخان على بيئة تركيبية صناعية فى المعمل فى ظروف معقمة . تتكون البيئة الأساسية basal medium من العناصر المغذية الكبرى والصغرى myoinositol وسكروز بتركيز ٣ ٪ وبعض فيتامينات B وهى البيريدوكسين pyridoxin وحامض النيكوتنيك nicotinic acid والثيامين thiamine وأوكسين نفثالين حامض الخليك وآجار ١ ٪ ويتم ضبط pH البيئة على رقم ٥,٨ . يتم تجزيىء نسيج الكالس إلى أجزاء وكل جزء يزن ٣ ملليجرام. ويوضع فى الدورق المخروطى الواحد المحتوى على البيئة أربعة قطع من الكالس. توضع الدوارق المخروطية فى درجة حرارة ٢٥°م فى ضوء فلورسنت. وبعد شهر يتم وزن قطع الكالس ورسم منحنى.



(**شكل ١٣٥**) : تأثير تركيز الكينتين على نمو كالس التبغ



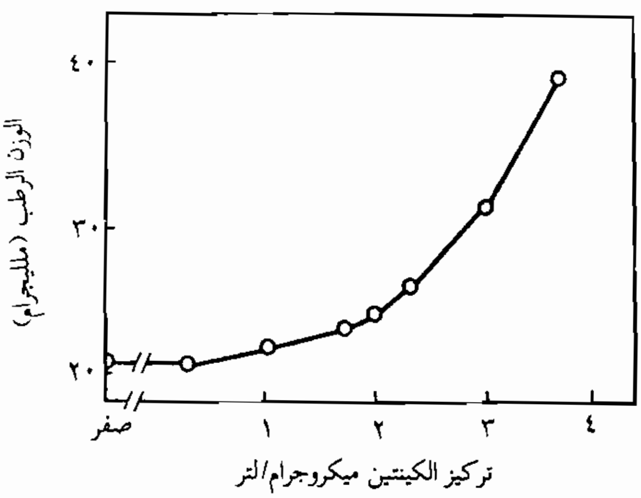
(**شكل ١٣٦**) : تأثير تركيز الزيتين على نمو نسيج كالس فول الصويا.

يمكن إجراء نفس الطريقة فى حالة نسيج كالس فلقات فول الصويا .

٢ - إختبار فلقات الفجل Radish Cotyledon Test

عند إستئصال الفلقات من بذور الفجل وتعويمها floated على الماء فأنها تنتفخ بدرجة بسيطة جداً ولكن بإضافة السيتوكينين للماء فأن الفلقات تكبر فى الحجم بدرجة كبيرة . يتناسب كبر الحجم مع تركيز السيتوكينين طردياً .

تنبت بذور الفجل على ورق ترشيح مبلل فى الظلام على درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية. بعد يومين يتم إختيار فلقات البادرات المتجانسة فى الحجم . يتم فصل الفلقات عن محور الجنين ثم يتم تعويم الفلقات فى ماء مقطر. يستعمل محلول منظم من فوسفات البوتاسيوم له درجة pH ٦ . تستعمل تركيزات مختلفة من السيتوكينين فى محلول منظم أو تركيزات من المحلول المجهول المراد إختياره وذلك أيضاً فى محلول منظم. توضع المحاليل فى أطباق بترى وفى كل طبق يوضع عشره فلقات متساوية الحجم. توضع الأطباق فى ضوء فلورسنت مدة التجربة. بعد ثلاثة أيام تأخذ الفلقات ويتم وزنها. يتناسب الوزن الرطب طردياً مع تركيز السيتوكينين (شكل ١٣٧) .



(شكل ١٣٧) : تأثير الكينتين على الوزن الرطب لفلقة الفجل

تفضل هذه الطريقة عن السابقة لأنها أسهل وتحتاج إلى وقت أقل. ولكن من أحد المآخذ أنها غير متخصصة تماماً حيث أنها تستجيب للجبريللينات بدرجة خفيفة.

٣ ـ إختبار قرص ورقة زانثيم Xanthium Leaf Disk Test

تتحول الأوراق أو أقراص الأوراق عند تعويمها على الماء floated on water بعد فترة إلى اللون الأصفر نتيجة لفقد الكلورفيل. يصحب ذلك هدم RNA والبروتين.

تعتبر التغيرات السابقة من مظاهر مرحلة الشيخوخة. عند إضافة السيتوكينين للماء فإنه يحدث تأخير لمرحلة الشيخوخة وتستمر الورقة محتفظة بلونها الأخضر لمدة أطول. يتناسب كمية الكلورفيل مع تركيز السيتوكينينات تناسب طردى.

تنبت بذور زانثيم وبعد مرحلة البادرة وتكوين النبات العادى تأخذ الأوراق وتغمر أعناقها فى ماء مقطر فى كأس ثم توضع فى الظلام ثلاثة أو أربعة أيام. تستعمل تركيزات مختلفة من السيتوكينينات أو من المحلول المجهول المراد إختباره.

يوضع كل تركيز فى طبق بترى به ورقة ترشيح . يتم عمل أقراص من الأوراق بين العروق بواسطة ثاقب فلين. يوضع فى كل طبق أربعة أقراص من الأوراق على ورقة الترشيح . يجب ملامسة السطح السفلى للأقراص لورقة الترشيح . توضع الأطباق فى الظلام لمدة يومين على درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية. تؤخذ الأقراص وتغلى أقراص كل معاملة على حده فى كحول إيثيل تركيزه بين ٩٦٪ إلى ٨٠٪ وذلك لأستخلاص الكلوروفيل. يتم تقدير تركيز الكلورفيل بواسطه جهاز تقدير الألوان على طول موجة ٦٦٠ نانو متر. يتناسب تركيز الكلورفيل تناسب طردى مع تركيز الكينتين (شكل ١٣٨).

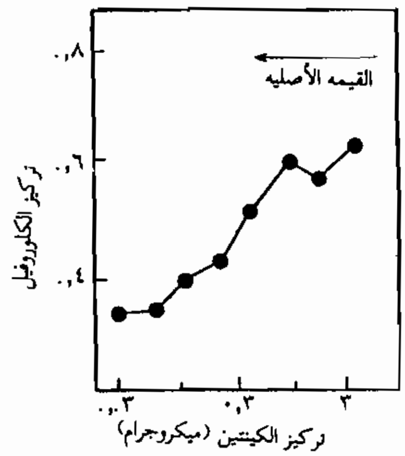
توجد أختبارات حيوية أخري كثيرة وتبني هذه الأختبارات علي أحد أربعة تأثيرات هامة للسيتوكينينات وهي

١ ـ تنشيط إنقسام الخلايا.

٢ ـ تأخير الشيخوخة.

٣ ـ تنشيط إستطالة أو تمدد أو كبر حجم الخلايا.

٤ ـ تنشيط تخليق الصبغات.



(**شكل ١٣٨**) : تأثير تركيز الكينتين على فقد الكلوروفيل فى أوراق نبات *Xanthium* المعرضة للظلام.

وهذه الأختبارات والزمن اللازم لإجرائها موضحة فى الجدول (جدول رقم ٩).

(جدول ٩) : أسماء بعض الأختبارات الحيوية لتقدير السيتوكينينات

نوع الأختبار الحيوى **Bioassay**	الزمن بالدقائق	أقل تركيز يمكن تقديره ($ug\ 1^{-1}$)
Tobacco pith callus	٢١	أقل من ١
Soybean callus	٢١	١
Carrot phoem	٢١	٢/١
Barley leaf senescence	٢	٣
Oat leaf senescence	٤	٣
Radish leaf disk expansion	١	٢
Radish cotyledon expansion	٣	١٠
Cucumber greening	١	١
Amaranthus betacyanin	٢	٥

عامة يفضل فى جميع الأختبارات الحيوية السابقة أن يتم تنقية المستخلص النباتى بواسطة طريقة paper chromatography وعند مناطق Rf الخاصة بالسيتوكينين يتم إختبارها بالأختبارات الحيوية. يتم تقدير وتأثير السيتوكينين لمناطق مختلفة لها Rf مختلفه بالأختبار الحيوى. ثم يتم جمع هذه التأثيرات المختلفة وتكون عبارة عن التأثير الكلى للسيتوكينين. يقارن التأثير الكلى بتأثير سيتوكينين تركيبى مثل الكينتين حيث يتم إختبار تركيزات معروفة عديدة وتحديد درجة تأثيرها عند كل تركيز ويتم عمل منحنى قياسى لهذه القراءات. ومن هذا المنحنى القياسى يمكن حساب التركيز الكلى للسيتوكينين فى المستخلص النباتى المراد تقديره.

ومن عيوب الطرق الحيوية أن كميات كبيرة من السيتوكينين تفقد أثناء الإستخلاص والتنقية وأن كفاءة السيتوكينين أثناء الإختبار هى عبارة عن الفرق بين كفاءته وكفاءة المركبات الطبيعية المثبطة للسيتوكينين أى أنه يمكن أن يكون تركيز السيتوكينين كبير ولكن كفاءته ونشاطه ضعيف لزيادة تركيز المثبطات الطبيعية وبذلك تكون النتائج مضللة. أيضاً لايوجد تجانس مطلق فى النباتات أو الأجزاء التى تستخدم فى الإختبار حيث توجد إختلافات بيولوجية وكذلك لابد من تكرار هذه التجارب كثيراً للحصول على نتائج معتمدة.

ثانياً : الطرق الكيماوية:

ونتيجة لهذه الثلاثة عيوب فى الطرق الحيوية المذكورة سابقاً فيفضل الإعتماد على الطرق الكيماوية وأهمها الطريقتين الآتيتين:

١- طريقة Radio-immunoassay

يمكن ربط السيتوكينين كيماوياً chemically linked على مركب بروتين حامل a carrier protein مثل ألبيومين سيرم الأبقار bovine serum albumin بواسطة طرق عديدة. يمكن إستخدام هذا السيتوكينين فى إنتاج أجسام مضادة وذلك بحقنه فى الأرانب. تستخلص الأجسام المضادة من دم الأرانب وحيث توجد الأجسام المضادة فى سيرم الدم ولذلك يسمى سيرم الدم المحتوى على الأجسام المضادة بإسم

antiserum. ولذلك يمكن قياس تركيز السيتوكينين فى مستخلص النبات الخام plant extract بواسطة الأجسام المضادة الموجودة فى antiserum حيث أن هذه الأجسام لها قدرة فائقة على الإرتباط بمركب السيتوكينين دون أى مركبات أخرى فى المستخلص الخام للنبات. تستخدم حالة الإرتباط التنافسى competitive binding بين السيتوكينينات الموجودة فى المستخلص النباتى وبين السيتوكينينات المشعة المضادة إلى مستخلص النبات فى الإرتباط بالأجسام المضادة ويستخدم ذلك التنافس فى الإستدلال على تركيز السيتوكينين فى المستخلص النباتى وذلك بإستخدام منحنى قياسى standard curve مناسب.

تفضل هذه الطريقة عن الطرق الأخرى لأنها سريعة ودقيقة ورخيصة وذلك فى حالة توفر الأجسام المضادة antiserum للسيتوكينين المطلوب تقديره.

يمكن أن يسبب وجود بعض المركبات الموجودة فى المستخلص تداخل فى التقدير ولذلك يفضل أيضاً فى هذه الطريقة أستعمال أضافى لجهاز HPLC - high performance liquid chromatography.

٢ - طريقة (GC / MS) Gas chromatography - Mass spectrometry

تستخدم الحالتين GS و MS أى فى تقدير كمى لكثير من مركبات السيتوكينين. وفى حالة إستخدام جهاز mass spectrometer وذلك بعمل ضبط للجهاز focusing لتقدير أيون معين أو قليل من أيونات معينة تشتق derived من المركب المراد تقديره أى السيتوكينين فى هذه الحالة وبذلك يمكن قياس هذا المركب بدقة حتى فى وجود خليط من مركبات كثيرة أو عينة غير نقية. وفى حالة إستعمال مركب قياسى standard داخلى مناسب suitable internal standard يمكن تقدير الفقد فى المركب أثناء خطوات التنقية الأولية وبذلك يمكن أن تكون هذه الطريقة أساسية لتقدير السيتوكينينات فى مستخلص النبات.

يتم أجراء هذه الطريقة بأضافة كمية معلومة من مركب قياسى يسمى مركب قياسى داخلى internal standard إلى مستخلص النبات الخام crude plant extract.

لابد أن يكون هذا المركب القياسى الداخلى مشابه تماماً أو كلما أمكن ذلك للمركب المطلوب تقديره وأن يكون له ميزه أخرى أنه يمكن تمييزه بسهولة عن المركب المطلوب تقديره عند عمل التقدير النهائى final analysis . يمكن أن يكون المركب القياسى عبارة سيتوكينين مشع فيه الأشعاع عبارة عن ذرة إيدروجين مشعة أى ديوتيريم deuterium أو تكون ذرة نيتروجين مشعة وهى^{15}N أى ن١٥ وبذلك يمكن التمييز بينه وبين السيتوكينين الداخلى بواسطة الوزن الجزيئى. وبعد تنقية مناسبة يتم تحويل المادة إلى مشتقات متطايرة volatile derivativesويتم فحصها بواسطة GC - MS . يتم ضبط الجهاز للتمييز بين الأيون من عينة السيتوكينين العادية وبين الأيون من السيتوكينين المشع أى المركب القياسى. يعتبر أيون المركب الأخير أثقل من أيون مركب السيتوكينين العادى لأنه مشع higher mass isotope. يمكن حساب تركيز السيتوكينين الموجود فى العينة أى فى المستخلص بواسطة المعادلة الآتية.

تركيز السيتوكينين فى العينة =

amountكمية المركب القياسي المضافة x intensity تركيز أيون سيتوكينين العينة.

intensity تركيز أيون المركب القياسي.

يستعمل فى هذا الأختبار منحنى قياسى يوضح العلاقة بين نسبة التركيز الناتجة من قياس الجهاز observed intensity ratio وبين نسبة التركيز المحسوبة. تكون النسبة هى عبارة عن النسبة بين السيتوكينين الغير مشع إلى السيتوكينين المشع .

تعتبر هذه الطريقة مكلفة لأرتفاع ثمن الأجهزة المستعملة وأيضاً تحتاج إلى وقت طويل وذلك بمقارنتها بالطريقة السابقة ولكنها لازالت أدق الطرق على الأطلاق.

التأثيرات المختلفة للسيتوكينينات على النبات

توجد تأثيرات مختلفة كثيرة للسيتوكينينات على النبات وأهمها ما يأتي:

١ ـ أنقسام الخلايا Cell Division

يعتبر أهم تأثير للسيتوكينينات هو إنقسام الخلايا ، ولكن أتضح من التجارب أنه لابد وجود أوكسين في تجارب كالس نخاع ساق التبغ. أتضح أن أضافة الأوكسين منفردا في البيئة يسبب كبر حجم الخلايا فقط دون أنقسام والعكس صحيح فإن أضافة السيتوكينين منفرداً في البيئة لا يسبب إنقسام الخلايا . عند أضافة الأوكسين والسيتوكينين للبيئة يحدث أنقسام سريع للخلايا وينمو نسيج الكالس ويكبر في الحجم إلى درجة كبيرة. ومما سبق يتضح أن السيتوكينين والأوكسين لازمين معاً لحدوث إنقسام الخلايا. يوجد تناسب طردى بين تركيز السيتوكينين ونمو نسيج الكالس في البيئة مع توفر الأوكسين. يتضح من ذلك أن وجود كل من السيتوكينين والأوكسين معاً يسببان إنقسام الخلايا في المرستيمات القمية وخلايا الكمبيوم . يعتقد في وجود تفاعل بينها interaction وغير معروف طبيعة التفاعل ويعتقد أن كل منهم ينشط الاخر . يعتقد أن السيتوكينين يزيد سرعة تخليق DNA و mRNA بينما يزيد الأوكسين سرعة تخليق RNA الريبوسومى. أستعمال السيتوكينين يسبب أنقسام الخلايا حتى في الخلايا البالغة مثل الخلايا البرانشيمية في القشرة والنخاع. ثبت أيضاً أن البكتريا وبعض البروتوزو اتنقسم في وجود السيتوكينين.

٢ ـ أستطالة الخلايا Cell Enlargement

يؤثر السيتوكينين على الأستطالة العرضية للخلايا أى تستطيل الخلايا بالعرض أما الأستطالة الطولية للخلايا فيتحكم فيها الأوكسينات والجبريللينات. تسبب المعاملة بالسيتوكينينات كبر في حجم الخلايا في أقراص أوراق النبات العادية وأيضاً الأوراق الفلقية لبذور الفجل. يعتقد أن السيتوكينين لازم لكبر مساحة النصل حيث أنه في حالة إزالة القمة النامية للجذور وهي مكان تخليق السيتوكينين تفشل الأوراق في الفرد leaf expansion. كما وجد أن معاملة الأوراق بالسيتوكينين في هذه الحالة

تسبب فرد الأوراق أى تحل المعاملة بأضافة السيتوكينين محل القمة النامية للجذور. معاملة النباتات العادية بالسيتوكينيات تثبط النمو الطولى للجذر والساق وتسبب زيادة سمك هذه الأجزاء. أى أنها تقلل من النمو الطولى وتنشط النمو العرضى ولذلك يزداد قطر أقراص أوراق النبات.

أوراق النبات النامية فى الظلام تكون مطوية غير منبسطة وتعريضها للضوء يسبب فردها وبسطها expansion. يمكن فرد الأوراق المطوية folded بمعاملتها بالسيتوكينين حتى فى وجود الظلام. أى أن السيتوكينين يحل محل الضوء فى هذه الحالة.

٣ ـ تكوين الشكل الظاهرى للنبات Morphogenesis

يسمى تكوين الشكل الظاهرى للنبات أو لأى عضو من أعضائه بالـ morphogenesis. أعتقد عالم النبات القديم Julius Sachs عام ١٨٨٠ أن تكوين أعضاء النبات مثل الساق والجذور والأوراق أى morphogenesis نتيجة لتكون مركبات خاصة معينه لكل عضو دون الآخر أى أن الجذور يلزمها مركب أو مركبات معينة وأيضا الساق يلزمه مركبات معينة تختلف عن الجذور وأن الأوراق يلزمها مركبات معينه تختلف عن الجذور والسيقان وهكذا. إلا أن تجربة Skoog and Miller عام ١٩٥٧ أثبتت عكس ذلك تماما حيث ثبت أن تكوين الجذور والسيقان يحدث نتيجة للتفاعل interaction بين الأوكسين والسيتوكينين وأن النسبة بين تركيزى هذين المركبين هى التى تتحكم فى تكوين الجذور أو السيقان . وفى هذه التجربة وفى ظروف معقمة تم وضع نسيج نخاع ساق الدخان على بيئة آجار مغذى nutrient agar (تتكون هذه البيئة من بيتون peptone ومستخلص لحم وماء آجار agar) وقد خلطت هذه البيئة بتركيزات مختلفة من كل من إندول حامض الخليك indole acetic acid الذى يساعد على إستطالة وكبر خلايا النبات وكينيتين kinetin الذى يساعد على إنقسام خلايا النبات. وقد وجد أن هذين المركبين يتحكمان فى تكوين الجذر والساق تبعا لتركيزاتهما فعند خلط بيئة الآجار المغذى بهذه المركبات ووضع النسيج على البيئة وفحص النسيج النباتى بعد عدة أسابيع وجد

أن خلط البيئة بأندول حامض الخليك وكينتين بنسبة ١٥ : ١ نتج عنه تكوين نسيج كالس. وبتغيير النسبة يمكن تكوين جذور فقط أو سيقان فقط . فزيادة تركيز أندول حمض الخليك يشجع تكوين المجموع الجذرى وزيادة تركيز الكينيتين يشجع تكوين المجموع الخضرى (شكل ٨٣).

وجد أن معاملة أوراق البيجونيا بالكينتين تسبب تكوين براعم على حواف الأوراق وأيضا معاملة العقل الساقية لنبات البنفسج الأفريقى تنشط تكوين البراعم على العقل.

٤- تكوين البلاستيدات الخضراء Development of Plastids

فى حالة كالس نخاع ساق التبغ لا تتكون البلاستيدات الخضراء فى الضوء أو فى الظلام. تتكون البلاستيدات الغير مكتملة فى وجود الضوء ولا تتحول إلى بلاستيدات عادية إلا بعد إضافة السيتوكينين للبيئة. تتكون بدائيات البلاستيدات proplastids وتكون عديمة الجرانا عند إضافة السيتوكينين إلى البيئة فى وجود الظلام. وفى الحالة الأخيرة عند إحلال الظلام بالضوء تتكون بلاستيدات خضراء عادية. يتضح من ذلك أن تكوين البلاستيدات الخضراء فى خلايا نسيج الكالس نتيجة للتفاعل interaction بين الضوء والسيتوكينينات. وحتى الآن غير معروف إمكانية أو مدى حدوث ذلك فى حالة النبات السليم العادى. بمعنى آخر هل يمكن تعميم ما حدث فى كالس التبغ على النباتات العادية. حتى الآن لايمكن الإجابة بدقة على هذا السؤال.

٥ - الأزهار وتحديد جنس الزهرة Flowering and Sex Expression

لا يعتبر للسيتوكينين دور فى تنشيط الأزهار ، وهذه القاعدة العامة لها شواذ قليلة حيث يمكن أن تؤثر المعاملة بالسيتوكينينات على أزهار نبات *Wolfia microscopica* ونبات *Lemna paucicostata*.

يمكن أن يؤثر فى بعض الحالات على جنس الزهرة ومثال ذلك فى الجنس *Vitis* يمكن أن توجد أزهار وحيدة الجنس مذكره ونتيجة المعاملة بالسيتوكينين تتكون مبايض الأزهار وبذلك تصبح الزهرة خنثى.

٦ ـ تكوين الثمار والبذور Development of Fruits and Seeds

بعد حدوث الأخصاب يكون نمو المبيض فى الفترة الأولى نتيجة لأنقسام الخلايا فقط وبعد هذه المرحلة يصبح نمو المبيض نتيجة كبر حجم أو أستطالة الخلايا. ولذلك فإن نمو المبيض وتحوله إلى الثمرة يكون فى المراحل الأولى على الأقل راجع إلى السيتوكينينات خاصة وأنه أمكن إثبات ذلك . فقد وجد أن الثمار أثناء تكوينها تحتوى على تركيز عال من السيتوكينينات وخاصة فى المراحل الأولى أثناء إنقسام الخلايا ومثال ذلك القطن والتفاح والموز ألخ. أمكن إثبات ذلك بطريقة أخرى حيث وجد أن أنسجة الثمار الصغيرة لا تنمو على البيئات الصناعية إلا فى وجود السيتوكينين. وأيضاً فى حالة الأجنة فإن المراحل الأولى من نمو الجنين على البيئة لا يمكن أن تحدث إلا بعد إضافة سيتوكينين للبيئة أو محاليل تحتوى على السيتوكينينات مثل لبن جوز الهند أو مستخلص الخميرة yeast extract.

يعتبر المكان الرئيسى لتخليق السيتوكينينات فى النبات هو القمم النامية للجذور ولكن يمكن أن تكون الثمار الصغيرة أثناء تكوينها وأيضاً الأجنة مركز لتخليق هذه المركبات. حيث وجد أن الأزهار تتحول إلى الثمار بالرغم من أزالة القمم النامية للجذور كما فى الطماطم والتبغ.

٧ ـ تأخير الشيخوخة Delay of leaf Senescence

عند حدوث الشيخوخة للورقة يحدث إنخفاض فى محتوى الكلوروفيل والبروتين و RNA ثم تسقط الورقة أو تجف على النبات.

من المعروف أن الكينيتين له تأثير هام فى أنه يضاد الشيخوخة فعند نزع ورقة من نبات الدخان وتركها فأن المحتوى البروتينى داخل الورقة يقل تركيزه ويزداد تركيز النيتروجين الذائب ونتيجة لذلك يحدث ضعف فى الورقة وتترهل وتدخل فى مرحلة الشيخوخة وفى النهاية تموت.

وفى حالة نبات *Xanthium* وعند نزع ورقة من هذا النبات ووضع عنقها فى محلول به كينيتين فأن هذه الورقة تبقى محتفظة بحيويتها لمدة طويلة وذلك بالمقارنة بورقة لم تعامل بمركب الكينيتين حيث تدخل فى مرحلة الشيخوخة وتموت سريعا.

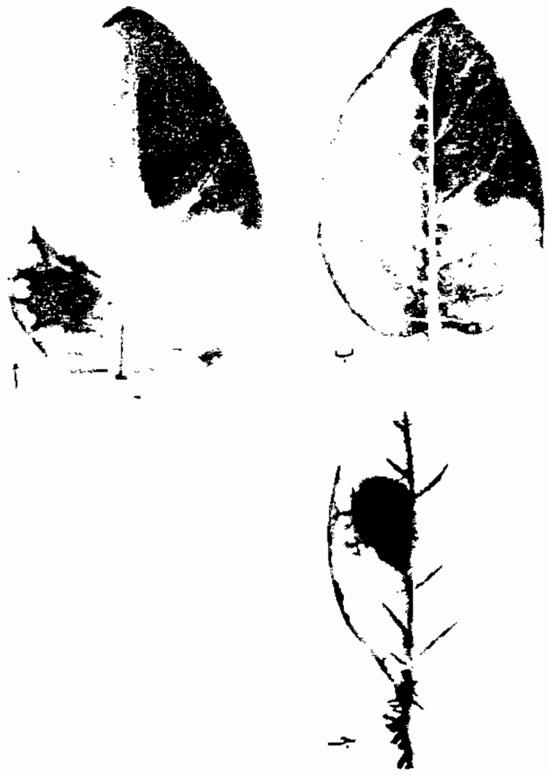
وفى تجربة أخرى عند معاملة نصف الورقة بالكينيتين والنصف الآخر لايعامل بالكينيتين ثم قطع هذه الورقة إلى نصفين فيلاحظ أن نصف الورقة المعامل بالكينيتين يظل محتفظ بحيويته لمدة طويلة ولايدخل فى مرحلة الشيخوخة ثم الموت إلا بعد فترة طويلة والعكس صحيح فى النصف الغير معامل.

وفى تجربة أخرى عند معاملة جزء دائرى من الورقة بالكينيتين وترك الأجزاء الأخرى غير معاملة فإن الجزء الدائرى بعد فصله من الورقة يظل محتفظ بحيويته لمدة ولايدخل فى مرحلة الشيخوخة ثم الموت إلا بعد فترة طويلة والعكس صحيح فى باقى الورقة.

من التجارب السابقة يتضح أن الكينيتين مضاد للشيخوخة. وقد وجد بالفعل أن المناطق التى يوجد بها الكينيتين من الورقة تنجذب إليها السكريات والأحماض الأمينية والعناصر من أجزاء الورقة إلى الجزء المحتوى على الكينيتين وذلك يدل على أن فى هذه المنطقة نشاط بيوكيماوى ملحوظ. وقد إستدل على ذلك بإستعمال سكريات مشعة وأحماض أمينية (شكل ١٣٩) وعناصر مشعة فنجد أن كل هذه المركبات المشعة تنجذب وتتجه ناحية الجزء المعامل بالكينيتين.

وقد وجد أن مركبات أخرى مثل zeatin وبنزيل أدينين benzyl adenine لها نفس تأثير الكينتين فى منع الإنخفاض السريع فى تركيز الكلوروفيل والبروتين و RNA.

مماسبق يتضح أيضاً أن السيتوكينينات يكون لها دور فى المحافظة على البروتين فى الأجزاء المعاملة بها حيث نجد أن هذه الأجزاء تعيش حية لفترة طويلة. وقد وجد بالفعل فى هذه الأجزاء أنه يوجد توازن بين كمية البروتين وبين كمية النيتروجين الذائب، فى حين أن الأجزاء غير المعاملة يكون فيها نسبة البروتين منخفضة والنيتروجين الذائب تركيزه مرتفع وذلك فى الأوراق المنزوعه من النبات . أى أن السيتوكينينات تؤخر الشيخوخة لأنها تمنع التدهور السريع وذلك لأنها تمنع الإنخفاض السريع فى تركيز الكلوروفيل والبروتين و RNA (شكل ١٣٩).



(شكل ١٣٩) : تأثير المعاملة بالكينتين على الورقة Radioautograms

أ،ب تأثير المعاملة بالكينيتين على الورقة حيث أن الأجزاء الخضراء معاملة بالكينيتين وفى أ الجزء السفلى يسار معامل بالجليسين المشع،

جـ ورقة تبغ كونت جذور على عنق الورقة وتم معاملة منتصف الورقة بواسطة ألفا أمينو بيوتريك مشع (البقعة الغامقة). ثم تم إنتقال ألفا أمينو بيوتريك إلى الجذور وفيها يتم تخليق السيتوكينين حيث ينتقل الأخير من الجذور إلى الورقة عن طريق العروق (الأجزاء الغامقة).

والظاهرة المستخدمة والمستعملة لاستخدام السيتوكينينات على نطاق طبيعى اقتصادى هى أن السيتوكينينات مضادة للشيخوخة وبذلك يمكن أن تطيل فى عمر الثمار والنباتات الورقية لمدة طويلة أثناء النقل والتسويق وقد أمكن تطبيق ذلك فى حالة البينزيل أدينين benzyladenine فأنه يستعمل لرش أو لغمر محاصيل الخضروات فيه لمدة معينة حيث أنه يطيل من عمر هذه الخضروات بصورة غضة ومثال لذلك البروكولى والكرفس والأسبرجس. الا أنه وجد أن السيتوكينينات لها تأثير على

الأحماض النووية فقد يكون لها تأثير سام phytotoxicity على الانسان أو الحيوان ولذلك فى الدول المتقدمة تجرى تجارب فى هذا الموضوع لاختبار تأثير المعاملة بهذه النباتات من حيث سميتها للأنسان والحيوان حتى يصرح لها بالأستعمال.

٨ ـ كمون البذور Dormancy

يمكن أن تسبب المعاملة بالسيتوكينينات إنبات البذور فى بعض الحالات. فقد وجد فى حالة بذور الخس صنف Grand rapids أن الضوء لازم لإنبات هذه البذور وأن الضوء الأحمر هو المؤثر على الأنبات دون ألوان الطيف الضوئى الأخرى. وجد أن البذور المعاملة بالكينتين يمكن أن تنبت فى الظلام، وفى هذه الحالة فإن الكينتين يحل محل الضوء الأحمر أو الضوء العادى . يؤثر الكينتين أيضاً على إنبات بذور التبغ و white clover.

وجد أن الكينتين يسبب إنبات بذور نبات *Striga*. يعتبر هذا النبات زهرى متطفل على بعض النباتات وفى مصر يتطفل على نبات القصب. هذا النبات عديم الجذور ولذلك فأنه يلتصق بجذور النبات العائل. لا تنبت بذور هذا النبات إلا فى وجود النبات العائل وتعليل ذلك أن جذور هذا النبات تفرز إفرازات تسبب إنبات هذه البذور، وأن أفرازات جذور النبات العائل تحتوى على مركبات منها السيتوكينينات تنشط إنبات هذه البذور.

وقد وجد أن السيتوكينينات التركيبية تنشط إنبات بذور هذا النبات مثل الكينتين و benzyladenine .

٩ ـ السيادة القمية Apical Dominance

توجد ظاهرة السيادة القمية فى النباتات ذوات الفلقتين. وملخص هذه الظاهرة أن البرعم الطرفى ينمو بنشاط بينما يمنع البراعم الابطية والموجودة أسفله لمسافة ما على النبات من النمو، ومن المعروف أن هذا راجع لتأثير الاوكسينات بتركيز عالى فى البراعم الابطية أسفل البرعم الطرفى يمنع نموها حيث أن هذه البراعم تحتوى على

الاوكسينات الخاصة بها وعلى أوكسينات اضافية منقولة اليها من البرعم الطرفي. ومن المعروف أن زيادة الاوكسين عن تركيز معين تمنع نمو البراعم وقد وجد أنه في حالة اصابة نبات الصفصاف بطفيل معين يسبب مرض للنبات معروف باسم مرض مكنسة الساحرة witches broom disease حيث نجد في هذه الحالة أن العقد في الساق متقاربة جداً والسلاميات قصيرة جداً ولذلك فأن الأفرع الجانبية تكون متقاربة جداً وتأخذ شكل المكنسة ولا يوجد أى وجود لظاهرة السيادة القمية. وقد وجد أن السبب في ذلك هو أن هذا الطفيل الذى يصيب الأشجار يفرز مركب سيتوكينيني وهذا المركب يضاد في عمله antagonise عمل الاوكسين ويبطل مفعوله فنجد أن البراعم الابطية تنمو بشدة وينتج عنها مرض شكل المكنسة .

وجد أن البكتريا *Corynebacterium fascians* تسبب أيضاً مرض مكنسة الساحرة في كثير من النباتات. حيث تفقد هذه النباتات ظاهرة السيادة القمية وتنمو البراعم الأبطية القريبة من البرعم القمي مع تقارب العقد وقصر السلاميات ، وقد وجد أن مركب السيتوكينين isopentenyl adenine يوجد في أفرازات هذه البكتريا.

١٠ - فتح الثغور Stomatal aperture

يؤثر السيتوكينين بدرجةبسيطة على فتحة الثغر حيث أنه يسبب زيادة في فتحة الثغر بدرجة بسيطة في سلخ البشرة المعامل بالسيتوكينين وذلك في بعض النباتات مثل *Commelina* ، و *Vicia* و*Tridax* و*Kalanchoe daigremontiana*. وفي حالة نبات *Anthephora pubescens* يكون أتساع فتحة الثغر بدرجة ٥٠ ٪ .

١١ - تكوين صبغة بيتاسيانين Synthesis of betacyanin

تحتاج بادرات *Amaranthus* إلى الضوء لتكوين صبغة betacyanin ولكنها يمكن أن تتكون في الظلام عند معاملتها بالسيتوكينين. أى أن للسيتوكينين دور هام في تكوين الصبغة.

الباب السابع

حامض الأبسيسيك

ABSCISIC ACID

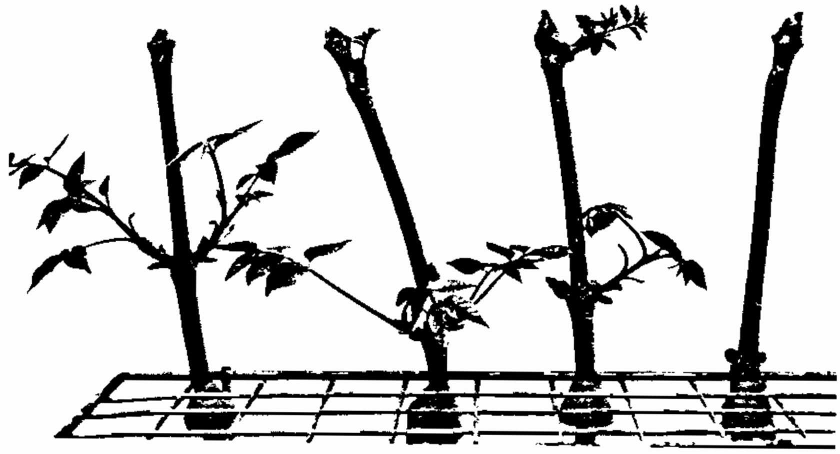
كيفية إكتشافه:

يرجع إكتشافه إلى مدرستين مختلفتين تعملان تقريباً فى آن واحد وكل منهما مستقل عن الآخر تماما، المدرسة الأولى فى كاليفورنيا بالولايات المتحدة بواسطة Addicott ومساعدوه.

والمدرسة الثانية فى ويلز Wales ببريطانيا بواسطة Wareing ومساعدوه.

قام Addicott ومساعدوه بعمل تجارب كثيرة للتعرف على أسباب سقوط لوز القطن الصغير الغير ناضج immature boll shedding حيث أنه من المعروف أن الأزهار غير المخصبة تسقط وأيضاً نسبة من الأزهار المخصبة أثناء تكوينها اللوز ولذلك فإن نسبة من اللوز الغير ناضج فى الأعمار الصغيرة تسقط أيضاً فى نباتات القطن. وقد أمكن عزل مركب فى صورة بلورية من جدار لوز القطن الجاف تسبب سقوط أعناق أوراق البادرات. حيث يتم إزالة نصل الأوراق من الأعناق ثم يتم معاملة الأعناق بهذه المادة المختبرة. وقد سمى هذا المركب باسم abscisin I عام ١٩٦١. أمكن أيضاً إستخلاص مركب آخر فى صورة بلورية من لوز القطن الغير ناضج الصغير وأنه يسرع من سقوط أعناق أوراق القطن وسمى باسم abscisinII. إتضح أيضاً أن هذا المركب الأخير يسبب تثبيط نمو غمد الريشة لنبات الشوفان أى الزمير. إتضح أيضاً أن المركب الأول ليس له وجود وأن المركب الثانى هو الأساس ولذلك فقد أجريت البحوث بعد ذلك بإستعمال مركب abscisinII منذ إكتشافه عام ١٩٦٣.

قام Wareing ومساعدوه بإجراء تجارب على البرعم الطرفى لبعض النباتات مثل الإسفندان *Acer* و *Betula* (شكل ١٤٠) لإختبار أسباب سكون هذا البرعم عند حلول فصل الخريف.



(**شكل ١٤٠**) : تأثير ABA علي سكون البراعم في نبات white ash من الشمال إلي اليمين المقارنة ثم تركيز ٤, جزء في المليون ثم ٢ جزء في المليون ثم ١٠ جزء في المليون.

وقد افترض تكون مركبات مثبطة تسب سكون هذه البراعم. وقد أمكن إثبات ذلك بالدليل القاطع.

وقد إقترح تكوين مركبات مثبطة أو مركب مثبط فى الأوراق التامة البلوغ mature فى النباتين السابقين عند حلول الخريف أى فى أيام قصيرة النهار. وأن هذا المركب ينتقل فى اللحاء من الأوراق إلى أعلى حتى يصل إلى القمة النامية ويسبب منع إنقسام الخلايا والنمو ولذلك يصبح البرعم الطرفى كامن. أمكن بعد ذلك عزل مركب فى صورة نقية بلورية من أوراق نبات الإسفندان *Acer*، أثناء وجود هذا النبات فى أيام النهار القصير، وله فاعلية فى تثبيط نمو البرعم الطرفى وأيضاً غمد الريشة للزمير وكمون بذور نبات *Betula* وسمى هذا المركب dormin عام ١٩٦٣ لأنه يسبب سكون البراعم dormancy.

وحيث أن كلاً من هاتين المجموعتين فى الولايات المتحدة وبريطانيا كانتا تعملان مستقلتان تماماً دون أى إتصال ولكن فى النهاية وبعد الكشف عن المركب المعزول فى كل حالة إتضح أن المركبين لهما نفس الخواص الطبيعية والكيماوية . يتضح من ذلك أن المركبين abscisinII و dormin هما عبارة عن مركب واحد وقد إتفق على تسمية هذا المركب باسم حامض الأبسيسيك abscisic acid (ABA) عام ١٩٦٥ . وقد اشتق الأسم من سقوط الأوراق أو الثمار أو الأزهار حيث يسمى السقوط abscission وبالرغم أن تسمية هذا المركب مشتقة من عملية السقوط للأوراق أو الثمار الغير ناضجة إلا أن هذا المركب ليس له دور جوهرى فى سقوط الأوراق أو الأزهار أو الثمار وأيضاً يمكن القول أنه عديم الفاعلية فى هذا الشأن. لذلك تعتبر التسمية غير معبرة حيث أن هذا المركب يسبب سكون البراعم وكمون البذور وتثبيط نمو النبات ولكن بالرغم من ذلك فإن التسمية مستمرة حتى الآن.

يعتبر هذا المركب من منظمات النمو من مجموعة المثبطات inhibitors وهو على العكس تماماً من منظمات النمو السابقة مثل الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات والتى تعتبر activators منشطات.

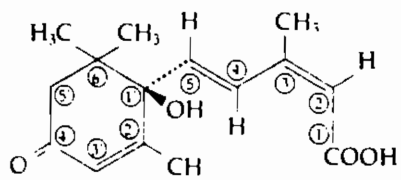
تركيب وأنواع حامض الأبسيسيك:

يتكون هذا المركب من ثلاثة وحدات من isoprene بينما يتكون الجبريللين من أربعة وحدات أى أن حامض الميفالونيك mevalonic acid أساسى فى تكوين هذا المركب كما هو الحال فى الجبريللين. توجد مجموعة كربوكسيل واحدة فى هذا المركب (شكل ١٤١).

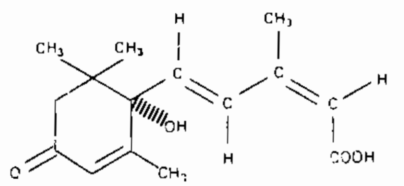
يوجد فى هذا المركب نوعين من التشابه isomerism تشابه ضوئى optical وتشابه فراغى تركيبى geometric.

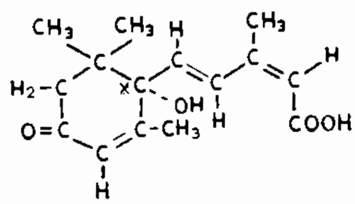
يوجد لهذا المركب نوعين من المشابهات الضوئية optical isomers حيث أن الجزيئ به ذرة كربون وهى رقم ١ غير متماثلة asymmetric . ولذلك يوجد نوعين من المشابهات الضوئية وهما dextrorotatory أى + حيث يحول الضوء المستقطب

ناحية اليمين والنوع الآخر وهو laevorotatory أى ـ حيث يحول الضوء المستقطب ناحية الشمال . النوع الأول أى ABA+ هو الوحيد الذى يوجد طبيعياً فى النبات أما النوع الآخر وهو ABA ـ فلايوجد فى النبات إطلاقاً (شكل ١٤٢). يمكن عمل ABA تركيبى synthetic وهو يكون racemic أى يحتوى على خليط من كميات متساوية تقريباً من النوعين + و ـ. حيث أنه من الصعب جداً فصل هذين المشابهين عن بعضهما أثناء التصنيع. كما وجد أن كفاءة هذين المتشابهين غير متساوية عادة فى الإختبارات الفسيولوجية والبيولوجية. ولذلك يستخدم هذا المخلوط الراسيمى racemic mixture من ABA التركيبى فى التجارب.



S - abscisic حمض S أبسيسيك





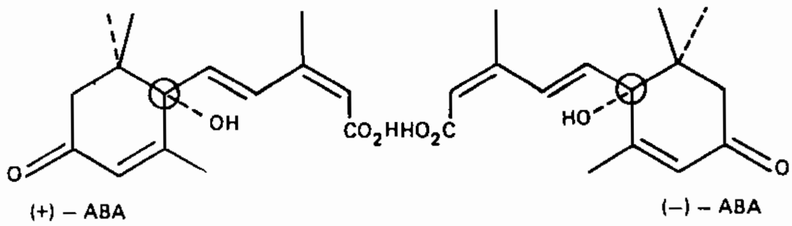
(+)- abscisic acid
xasymmetric carbon

(شكل ١٤١) : التركيب الجزيئى لـ ABA

التركيب الجزيئى بالذرات (يمين)

التركيب الجزيئى العام (شمال)

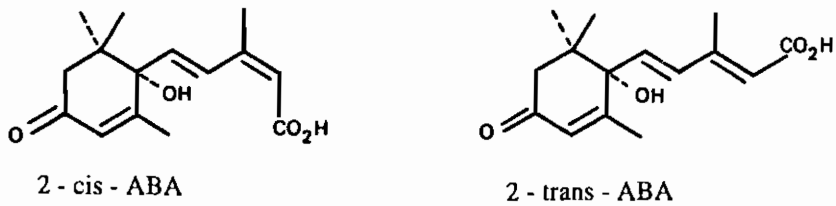
ذرة الكربون ذات علامة × فيها عدم الثبات ولذلك يحدث المشابهين الضوئيين لهذا المركب.



(شكل ١٤٢) : التركيب الجزيئي لمشابهي حامض الأبسيسيك.

يوجد لهذا المركب أيضاً نوعين من المشابهات الفراغية التركيبية geometric isomers (شكل ١٤٣) لذرة الكربون رقم ٢ في السلسله. حيث يوجد ABA 2-*cis* والنوع الأخر هو 2-*trans* ABA . يعتبر المركب الأول فعال فسيولوجياً بينما المركب الثاني غير فعال فسيولوجياً. تحتوى النباتات على خليط من هذين المشابهين.

يعتبر حمض الأبسيسيك من مركبات سس كويتربين sesquiterpene ويحتوى على خمس عشرة ذرة من الكربون ويتميز بحلقة سداسية التكوين ومركزاً غير متناظر وستة من الكربون الإستبدالى الغير مشبع (شكل ١٤١) والمركز غير المتناظر هو المسئول عن وجود صورتين من المشابهات enantiomorphic forms، وهـــى R ـ حمض الأبسيسيك ((R) abscisic acid) والثانـــية S ـ حمض الأبسيسيك ((S) abscisic acid) وصورة الحمض(S) هى الصورة النشطة الموجودة طبيعياً ولهذا السبب يشار إليها ببساطة بحمض الأبسيسيك أو ABA دون تحديد. هذا بالإضافة إلى أن المشابهين نشطان ضوئياً ، فمثلاً (S)(+) - حمض الأبسيسيك (abscisic acid ـ (+) (S)) يمينى الدورة أى يتسبب فى انحراف الضوء المستقطب بشدة إلى اليمين. وفى الحقيقة فإن حمض الأبسيسيك يكشف عنه عادة بطرق التشتت الدورانى الضوء بصرية optical rotatory dispersion لأنه يعتبر من أكثر المنتجات الطبيعية ذات النشاط الضوئى المعروفة للإنسان.

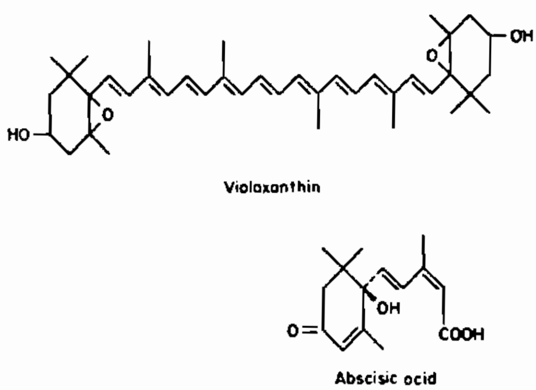


(شكل ١٤٣) : التركيب الجزيئي لـ *2-cis* -ABA و *2-trans* -ABA

كيفية تخليق ABA طبيعياً:

يعتقد فى حدوث طريقتين يتم بهما تخليق ABA وهما طريقة أكسدة الزانثوفيل وطريقة حامض الميفالونيك. توجد طريقة ثالثة خاصة بالفطر *Cercospora rosicola*.

فى طريقة أكسدة الزانثوفيل xanthophyll (شكل ١٤٤) يتحول أحد مركبات الزانثوفيل وهو فيولازانثين violaxanthin عن طريقة عملية الأكسدة إلى مركب xanthoxin. وجد أن المركب الأخير يشابه ABA فى كثير من الأختبارات الفسيولوجية.

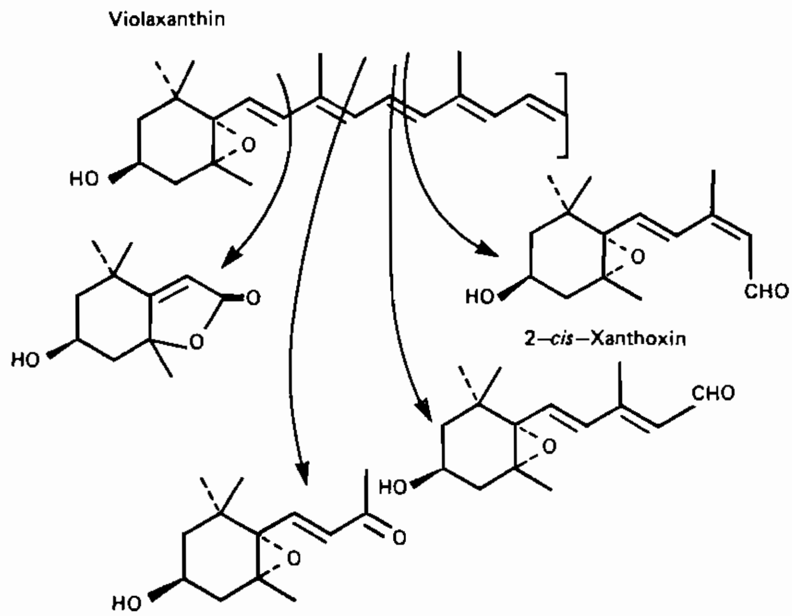


(شكل ١٤٤) : تخليق حامض الابسيسيك عن طريق أكسدة بعض الزانثوفيلات مثل فيولازانثين وزانثوكسين.

ويعتقد أن هذا المركب هو عبارة عن المركب الأصل precursor الذى يتكون منه ABA. حيث وجد أنه من السهل جداً أن يتحول مركب xanthoxin في داخل النبات إلى ABA.

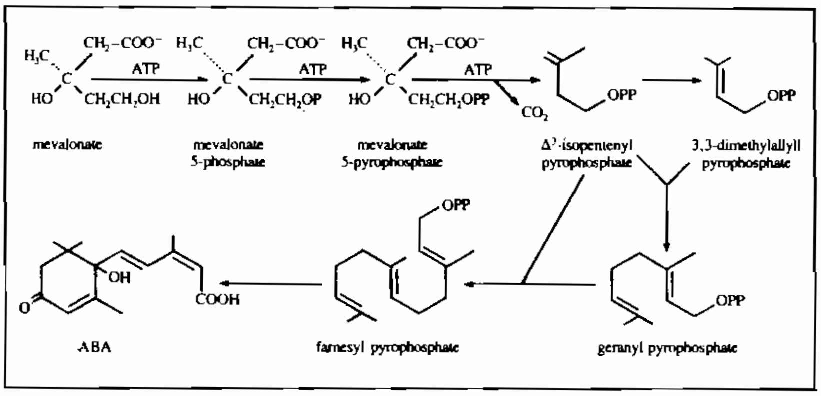
ومما يثبت ذلك أن تغذية نبات الطماطم بمركب xanthoxin يسبب زيادة فى تركيز ABA. وقد أستعمل فى هذه التجارب مركب xanthoxin معلم أى مشع بإستعمال كربون مشع ك١٤.

وجد فى تجارب أخرى أن المركبات الوسطية لتحلل فيولازانثين تحتوى بعض المركبات منها 2-cis-xanthoxin ومركبات أخرى (شكل ١٤٥). ومن المآخذ على هذه الطريقة أن بعض النباتات لاتحتوى أو تحتوى على كميات أثرية من مركب violaxanthin وبالرغم من ذلك يتكون ABA.



(شكل ١٤٥): الأكسدة الضوئية *in vitro* لمركب فيولازانثين وحيث يتحلل وينشق إلى مركبات عديدة منها 2-cis-xanthoxin وثلاثة مركبات أخرى. جميع هذه الأربعة مركبات أمكن عزلها من الأوراق الخضراء.

فى طريقة حامض الميفالونيك mevalonic يتكون ABA من هذا الحامض (شكل ١٤٦) يتكون ABA من ثلاث وحدات من isoprene ولذلك يسمى sesquiterpene بينما يتكون الجبريللين من أربعة وحدات من isoprene ولذلك يسمى diterpene . ولذلك يعتبر حامض mevalonic هو المركب الأصل precursor الذى يتكون منه ABA أو الجبريللين. وجد أن أوراق نبات القمح يمكن أن تخلق بسرعة كبيرة ABA عند وجود النبات فى ظروف قلة الماء water stress وأن معاملة هذا النبات بحامض mevalonic مشع يسبب ظهور الإشعاع فى ABA. كما أمكن إثبات ظهور الإشعاع فيه عند معاملة أجزاء مختلفة من النبات بحامض mevalonic مشع وهذه الأجزاء هى الأجنة أثناء تكوينها والأندوسبرم والثمار فى عدد من النباتات. يتم تحويل حامض mevalonic إلى 2-*trans* ABA وهذا المركب غير نشط فسيولوجياً وتحدث هذه الخطوة فى وجود الضوء أو الظلام.



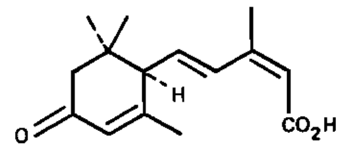
(شكل ١٤٦) : خطوات تحويل ABA من حامض الميفالونيك.

يتم تحويل 2-*trans* ABA إلى 2-*cis* ABA فى وجود الضوء فقط. يعتبر المركب الأخير نشط فسيولوجياً. خطوات التحول غير معروفة حتى الآن.

يضاد ABA نشاط وفاعلية الجبريللين فى كثير من التفاعلات والعمليات الحيوية. كما أن نقص تركيز الجبريللين فى النبات endogenous gibberellins يصاحبه

دائما زيادة فى تركيز endogenous ABA والعكس صحيح. وقد أمكن إثبات ذلك فى كثير من النباتات منها الأسفندان *Acer* و *Betula* ودرنات البطاطس أثناء فترات سكون البراعم وأيضاً أثناء فترات نموها.

وجد أن فطر *Cercospora rosicola* يكون 1-desoxy ABA فى البيئة ويكون أيضاً حامض ABA (شكل ١٤٧).



1 –desoxy ABA

(شكل ١٤٧) : تكوين مركب 1-desoxy ABA أثناء تخليق ABA فى مزرعة الفطر *Cercospra rosicola* .

مدي إنتشار ABA في النباتات المختلفة :

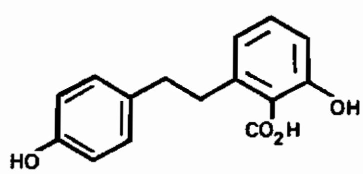
يوجد ABA فى أجزاء مختلفة لنباتات كثيرة من الفطريات والطحالب والبكتريا والتيريديات ومنها السرخسيات وعاريات وكاسيات البذور. لايوجد حتى الآن دليل على وجود هذا المركب فى الحزازيات المنبطحة أو القائمة ولازال هذا الوضع للحزازيات غامض. يوجد مركب مثبط إسمه lunularic أمكن إستخلاصه من الحزازيات المنبطحة.

أمكن إثبات وجود مركب ABA فى كثير من النباتات (جدول ١٠). تعتبر الثمار من الأجزاء الغنية بهذا المركب وعامة تحتوى على أعلى التركيزات بالنسبة للأجزاء الأخرى من النبات ومثال ذلك ثمار الورد حيث تحتوى على أعلى تركيز من هذا المركب حتى الآن.

وجد فى جميع أنسجة النباتات الزهرية ومنها أنسجة الجذر وخشب ساق النبات وعصارة الخشب وعصارة اللحاء وحبوب اللقاح وبتلات الأزهار والثمار والبذور.

تتراوح تركيزاته بكثرة فهو يوجد بتركيز 5 - 3 ميكروجرام لكل كيلوجرام فى النباتات المائية ويوجد بتركيز ١٠ ملليجرام لكل كيلو جرام فى الجدار الثمرى الوسطى mesocarp لثمار الأفوكادو. تركيزه فى أوراق نباتات المناطق المعتدلة يتراوح عادة بين ٥٠ إلى ٥٠٠ ميكروجرام لكل كيلو جرام. وجد حديثاً نسبياً أن فطر *Botrytis cinerea* يقوم بتخليق ABA .

يوجد بديل ABA لهورمون فى الحزازيات يسمى حامض ليونيولاريك lunularic (شكل ١٤٨). يمكن تقدير تركيزه بطريقة حـــيوية بواسطة إستعمال جيمات gemmae حزاز *Lunularia cruciata* وهو حزاز منبطح وقد سمى الهورمون بإسم هذا الحزاز لأنه أستخرج منه لأول مرة. وقد أمكن إثبات أن التركيزات العالية نسبياً من هذا الهورمون تمنع نمو الجيمات. يوجد هذا الهورمون فى حزازيات منبطحة أخرى. يوجد أيضاً ميثيل أستر هذا الهورمون طبيعياً فى النبات وقد أمكن التعرف عليه بواسطة GLC .



(**شكل ١٤٨**) : التركيز الجزيئي لحامض lunularic .

يتأثر هذا الهورمون بطول النهار ففى النهار القصير يقل تركيز الهورمون وينمو الحزاز بسرعة والعكس فى حالة النهار الطويل. وجد أيضاً أن أطوال موجة الضوء تؤثر على تركيز الهورمون والنمو ففى الضوء الأحمر (طول موجه ٦٥٠ نانومتر) يقل تركيز الهورمون وتزداد سرعة نمو الحزاز والعكس صحيح فى الضوء الأحمر البعيد (طول موجه ٧٣٥ نانومتر) ولذلك فإن للفيتوكروم دور فى ذلك. وجد أن هذا الهورمون يحل محل ABA فى هذه النباتات حيث يزداد تركيزه عند حدوث جفاف فى بيئة الحزاز وتوقفه عن النمو.

(جدول ١٠) : بعض النباتات والأجزاء التى يوجد فيها ABA .

النبات		العضو أو الجزء أو النسيج النباتي
الأسفندان	*Acer pseudoplatanus*	الأوراق
	Betula pubescens	الأوراق
البطاطس		الدرنات
سرخس	*Pteridium aquilinum*	الريزوم
الفاصوليا		الساق
زانثيم	*Xanthium strumarium*	البرعم القمى
البن		البرعم الزهرى
التفاح		الثمار
جوز الهند الخوخ		الأندوسبرم
		عصارة الخشب xylem sap

تحتوى النباتات على مركبات مشابهة بدرجة كبيرة لـ ABA فى تركيبها الكيماوى. ومن هذه المركبات phaseic acid الموجود فى *Phaseolus multiflorus* ومركب thiaspirone الموجود فى أوراق نبات الشاى ومركب 2-*trans* ABA الموجود فى ثمار الشليك ومركب (+)abscisyl B-D-glucopyranoside الموجود فى ثمار الترمس. يوجد مركب methyl ester ABA وهو ذو نشاط ضعيف يتكون تركيبياً فقط أى صناعياً ولايتكون هذا المركب طبيعيا فى النبات . ويمكن إعتباره ABA تركيبى مع ملاحظة ضعف فاعليته ونشاطه.

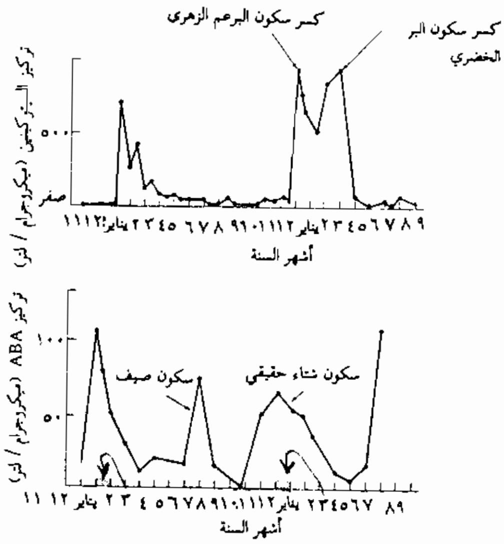
أماكن تخليق ABA :

تعتبر البلاستيدات الخضراء هى مكان تخليق ABA. عند عزل بلاستيدات خضراء سليمة من أنسجة ثمار الأفوكادو فإنها تكون قادرة على تخليق ABA عند تغذيتها أو معاملتها بحامض mevalonic. وجد أيضاً أن عزل بلاستيدات خضراء سليمة صحيحة من أوراق الفاصوليا تكون قادرة على تخليق ABA . أما عن وجود

أماكن أخرى لتخليق هذا المركب خلاف البلاستيدات الخضراء فحتى الآن لم يمكن إثبات ذلك حيث أنه لم يمكن إثبات تخليق هذا المركب فى أنسجة خالية من البلاستيدات الخضراء حتى الآن. ولكن حديثاً وجد أنه يمكن تخليق ABA فى سيتوبلازم خلايا أوراق السبانخ وأنه لم يتم تخليقه فى البلاستيدات الخضراء فى هذه الخلايا عكس القاعدة العامة. انظر موضوع تخليق وانتقال وتوزيع الهورمون داخل الخلية.

إنتقال ABA :

نتيجة للدراسات على إنتقاله فى غمد الريشة لنباتات العائلة النجيلية وأيضاً قطاعات سيقان نباتات مختلفة فقد اتضح أن إنتقال ABA يكون جهازى systemic وفى أى اتجاه. أى أنه لايظهر خاصية الإنتقال القطبى. تكون سرعة الإنتقال حوالى ٢ سم لكل ساعة. يزداد تركيز ABA فى عصارة الخشب فى نبات الصفصاف أثناء الشتاء وأيضاً فى الصيف عندما يتوقف النمو ويقل فى الربيع والعكس صحيح فى السيتوكينين (شكل ١٤٩).



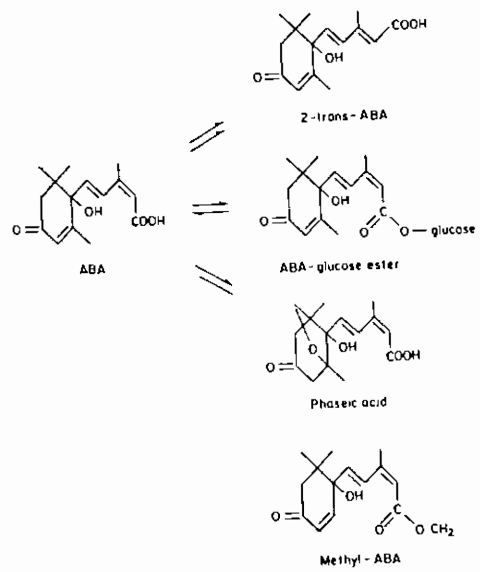
(**شكل ١٤٩**) : تركيز ABA والسيتوكينين فى عصارة خشب نبات الصفصاف أثناء أشهر السنة المختلفة.

ينتقل بسرعة كبيرة على وجه الخصوص فى نسيج اللحاء كما يمكن أن ينتقل فى نسيج الخشب كما أنه يمكن أن ينتقل من خلية إلى أخرى وخاصة الخلايا البارنشيمية ولذلك فإن وجوده فى أى نوع من الأنسجة أو الخلايا لايكون دليل على أن التخليق يحدث فى هذه الخلايا حيث يمكن أن ينتقل إلى هذه الخلايا دون أن يخلق فيها .

وجد أن معاملة ورقة بادرة الفاصوليا بهذا الهورمون فإنه يتنشر فى جميع أجزاء البادرة فى خلال يوم واحد ووجد ١٨ ٪ منه فى العقد الجذرية. وجد نفس الشيء فى بادرة القطن الأمريكى *(G. hirsutum)* حيث يظهر ABA فى جذور البادرة بعد ثمانية أيام من معاملة الأوراق . أستعمل فى التجربتين السابقتين ABA مشع فى ذرة الكربون ك١٤ .

طرق فقد نشاط ABA- Inactivation of ABA

يحدث للـ ABA فى النبات تحولات كثيرة ونتيجة لذلك يفقد هذا المركب خصائصه وهذه الحالات ما يأتى (شكل ١٥٠).



(**شكل ١٥٠**) : إرتباط حامض الأبسيسك وتأثره بالضوء.

١ ـ عن طريق التحول الضوئي حيث يتحول الى 2-*trans* ABA .

٢ ـ الأكسدة لتكوين phaseic acid .

المركبان السابقان ليس لهما أى تأثير أو أى نشاط للحامض ABA .

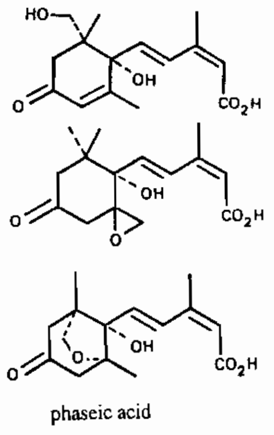
٣ ـ يمكن تحويله إلى glucoside وهو مركب ABA glucose ester حيث يرتبط الجلوكوز بمجموعة الكربوكسيل وهذا المركب أيضاً غير فعال ولكن بواسطة العصير الخلوى فى الخلايا يمكن تحويله إلى حامض الإبسيسيك بسهولة.

يتم منع نشاط ABA بطرق عديدة منها الإرتباط conjugation والقيد binding . فى حالة الأرتباط يكون أرتباط ABA بمركب آخر حجمه صغير عادة مثل سكر أحادى أو حامض أمينى ويكون ذلك بواسطة رابطه تعاونية covalent link مثل رابطة الجلوكسيد glucoside أو رابطة الأستر. بينما يعتبر القيد أن يصبح الهورمون مقيد bound ABA أى يرتبط بجزئيات كبيرة ويكون الإرتباط برابطة غير تعاونية non covalent bond ولا يمكن إستخلاصة بعملية الغسيل بواسطة بيئة مائية .يمكن فقد نشاط حامض الأبسيسيك بطرق عديدة وهى ما يأتى:

١ ـ فقد التنشيط بالأكسدة Oxidative inactivation of ABA:

أول المحاولات لعزل ناتج تحول غذائى لهذا الهورمونmetabolite of ABA نتج عنها مركب S-hydroxymethyl ABA (شكل ١٥١أ) .يوجد مشابه لهذا المركب وهو عبارة عن phaseic acid .وقد تم عزله من الفاصوليا.ولكن أتضح فيما بعد أن هذا التركيب خاطئ (شكل ١٥١ب) .وقد أمكن بإستعمال NMR nuclear magnetic resonance spectrum التعرف على التركيب الصحيح لهذا المركب (شكل١٥١ ج) .فى حالة أستر ميثيل ABA فأنه يتكون قمتين أى علامتين signals حيث أن الذرة رقم ٦ تحمل مجموعتين ميثيل. بينما فى حالة التركيب الصحيح لحامض phaseic يكون له قمة (علامة signal) واحدة عند ذرة الكربون رقم ٦ وقمة أخرى عند ذرة الكربون رقم ٢ وكلاهما لمجموعة الميثيل .بينما فى حالة أستر

ميثيل ABA يمكن أزالة مجموعة الميثيل على الذرة رقم٢ وأن يحل محلها ذرة إيدروجين مشع عبارة عن الديوتيريم deuterium. وعند فحص المركب الأخير وهو 2-Me-deuteriated sample of ABA بواسطة بروتون NMR (بروتون NMR) (شكل ١٥٢) فإنه لا يتكون قمة لمجموعة الميثيل عند ذرة الكربون رقم٢. عند تغذية نباتات طماطم بواسطة المركب السابق أى 2-Me-deuteriatid ABA فإنه يتم تحويله داخل النبات إلى phaseic . بأستخلاص الحامض الأخير من الطماطم والكشف عنه بواسطة NMR فأنه يتكون قمتين signals لمجموعتين ميثيل أذا كان التركيب الأول صحيح وتتكون قمة واحدة فقط أذا كان التركيب الثانى صحيح وذلك فى حالة إستبدال مجموعة الميثيل على ذرة الكربون رقم ٢ بذره إيدروجين مشع ديوتيريم. وجد أنه تتكون قمة واحدة فقط دليل على أن المركب الثانى صحيح والمركب الأول خاطيء.يتكون حامض الفاسيك وذلك بإستبدال مجموعة هيدروكسى ميثيل 6-hydroxmethyl على ذرة الكربون رقم ٦ وتكوين قنطرة أو رابطة إيثير an ether bridge وأيضاً عمل تشبيع للرابطة المزدوجة الموجودة بين ذرة كربون رقم ٢ وذرة كربون رقم٣.



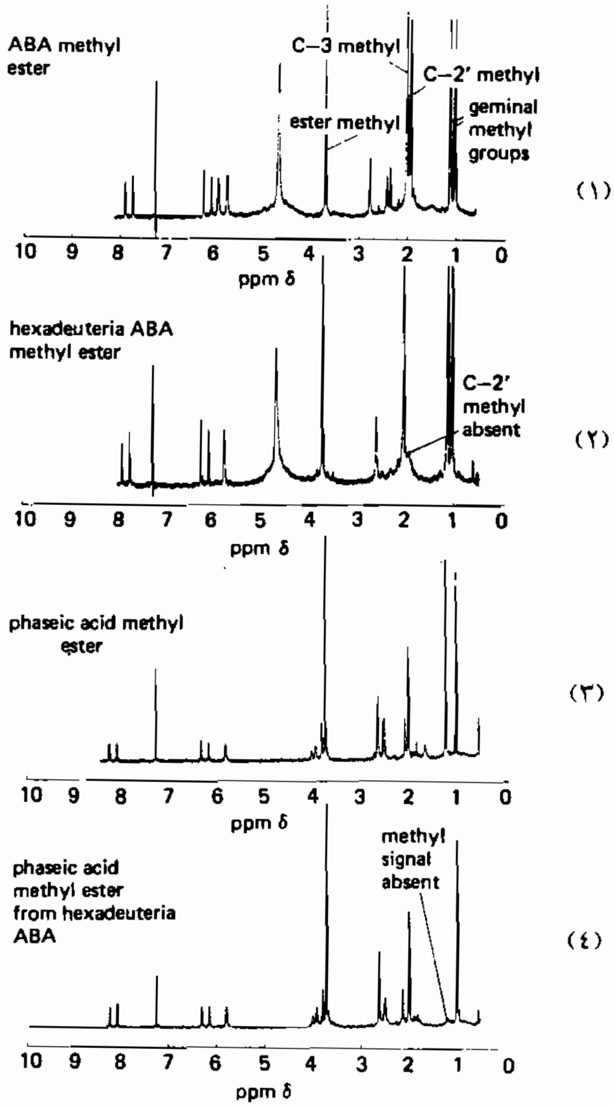
١ ٢ ٣

(شكل ١٥١) : حامض الفاسيك ومشتقاته

١ ـ 6,S hydroxymethyl ABA = MetaboliteC

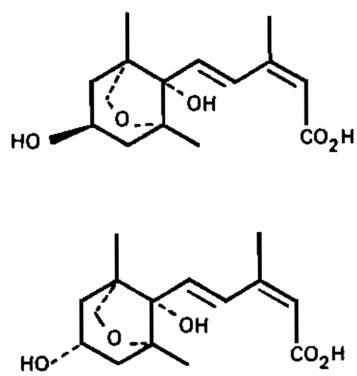
٢ ـ تركيب خاطيء لحامض الفاسيك.

٣ ـ تركيب صحيح لحامض الفاسيك.



(شكل ٢ ٥ ١) : أطياف ميثيل أستر حامض الفاسيك وميثيل أستر ABA بأستعمال جهاز NMR. مجموعة الميثيل على ذرة الكربون ٢ فى الحلقة واضحة فى ABA عند ١,٩ δ(١) ولكنها غائبة فى حالة hexadeuteria ABA (٢). وعند أستعمال hexadeuteria ABA فى تغذية نبات الطماطم فإن حامض الفاسيك المتكون ينقصه مجموعة ميثيل عند ١,٢ δ(٤) بالمقارنة بحامض الفاسيك العادى (٣). يثبت ذلك أن مجموعة الميثيل فى حامض الفاسيك تنشأ من مجموعة الميثيل الموجودة على ذرة الكربون رقم ٢ فى حامض الأبسيسيك ABA.

بعد تكوين حامض الفاسيك فإنه يختزل إلى نوعى two epimeric من dihydrophaseic acid حيث توجد مجموعة إيدروكسيد على ذرة الكربون رقم ٤ حيث يكون التوزيع الفراغى لمجموعة الإيدروكسيدفى احدهما إلى أعلى وفى الآخر إلى أسفل (شكل ١٥٣). وجد تفاعل عكسى يمكن به تحويل، عن طريق الأنزيمات، مركبين dihydrophaseic acid عن طريق الأكسدة إلى phaseic acid وذلك بواسطة أنزيمات alcohol dehydrogenases فى وجود زيادة excess من NAD. يتحول dihydrophaseic إلى 4-B-D-glucoside



(شكل ١٥٣) : التركيب الجزيئي لمشابهين dihydrophaseic acid.

يمكن أن يفقد ABA نشاطه وذلك بتحليله (تحطيمه destruction) أو أخفاء خاصية هامة للهورمون masking of an essential feature ويحدث تغيير بحيث يصبح الهورمون قطبى بدرجة كبيرة highly polar وأيضاً محب للماء hydrophilic properties ويكون ذلك بالأتحاد مع glucosyl أو ما يشابهه.

يحدث تجمع للمرتبطات القطبية polar conjugates فى الفجوة العصارية للخلية.يمكن أن يحدث تحرر للهورمون من هذه المرتبطات وذلك بواسطة تحلل قلوى alkaline hydrolysis . يعتبر ABA glucose ester وأيضاً ABA glucoside من المرتبطات والتى نتيجة لتحللها قلوياً ينتج ABA. تركيز ABA فى البروتوبلازم وفى

فتات الخلية أى أجزاء الخلية بعد تحطيمها fragments يكون أعلى من تركيزه فى العصير الخلوى وذلك فى ثمار الجريب فروت واليوسفى.

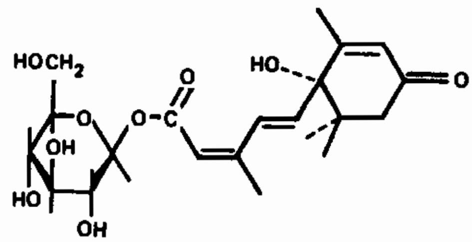
يعتبر كل من phaseic acid و dihydrophaseic acid ليس لهما أى تأثير على النمو أى عديما النشاط. وجد أن phaseic acid يثبط عملية البناء الضوئى بينما ABA لا يؤثر.

وجد أن حامض الفاسيك و ABA كلاهما فعال ويسببان غلق الثغور فى نبات *Commelina communis* وفى حالة ثغور الفول فإن ABA فعال فى غلق الثغور بينما حامض الفاسيك غير فعال. يعتبر dihydrophaseic acid غير فعال فى غلق الثغور إطلاقاً.

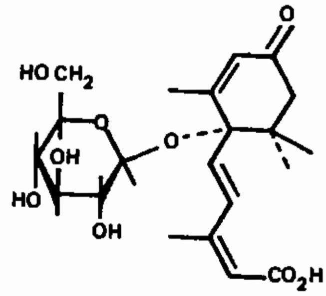
٢ - الأرتباط في Conjugation of ABA-ABA :

يعتبر المركب المرتبط conjugate هو مركب مرتبط مع ABA، وقد أمكن عزل أول مركب مرتبط وهو جلوكوز أستر ABA (glucose ester ABA) (ABAGE). وجد أن كفاءة المركب الأخير هو نصف كفاءة ABA. يمكن أيضاً تحرر ABA نتيجة لتحلل ABAGE. وجد أيضاً أن ABAGE يعتبر أحد مشتقات ABA فى سيقان الطماطم (شكل ١٥٤).

وجد حديثاً نسبياً مركب مرتبط اخر وهو ABA glucoside (ABAGS). وجد أن كلا من ABAGE و ABAGS قابلان للتحلل بواسطة قلوى ضعيف (شكل ١٥٤) ولذلك يجب الحذر التام أثناء عمل التجارب عند تقدير تركيز ABA الحر والمركبات المرتبطة. وجد أن كحول الميثانول المتعادل وعلى وجه الخصوص القلوى يهاجم جلوكوز أستر ABA وينتج عن ذلك ميثيل ABA (MeABA) بينما يتحول ABAGS تدريجياً ذاتياً إلى ABAGE. يستعمل فى الأستخلاص عادة أسيتون حامضى. عامة جميع الأختبارات السابقة المبكرة لتقدير تركيز ABA الحر والمرتبط مشكوك فى صحتها ومن أمثلة ذلك أهمية ABA فى سكون البراعم أصبحت مثار الجدل.



ABA glucose ester



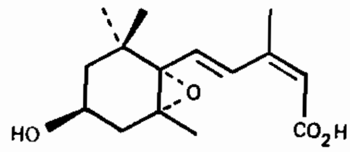
ABA glucoside

(شكل ١٥٤): التركيب الجزيئي لمرتبطات ABA.

أجريت كثير من التجارب على نباتات ذابلة ووجد أن تركيز ABA أرتفع إلى أربعون مره بينما تركيز ABA المرتبط ظل ثابتاً. يدل ذلك على أن ABA المرتبط لا يعتبر مصدر لـ ABA الحر. وفى أحد التجارب لأكتشاف مدى التحلل المباشر ل ABA المرتبط إلى ABA حر على نبات البنجر وعند تغذية النبات على ABA مشع فى الكربون ك ١٤ فإن ABA المرتبط الناتج منه يكون مشع أيضاً، وعند ذبول هذه النباتات فإن كمية ABA الحر تزيد بدرجة كبيرة بينما كمية ABA المرتبط تقل قليلاً جداً أى أن مصدر ABA هو ليست ABA المرتبط.وجدت نفس النتيجة فى نبات الطماطم ولكن غير معروف حتى الآن هل يمكن تعميم النتيجة أم لا أى أنها عامة لجميع النباتات أو خاصة بالنباتات السابقة فقط.

وجد أن ABA + يمكن أن يتحول إلى حامض فاسيك بسهولة ولكن ABA ـ يتحول بضعف أو بصعوبة كما وجد أيضاً أن ABA (+) 2-trans يتحول بصعوبة

بالغة، والعكس صحيح فى حالة مرتبطات الجلوكوز وهى ABAGE و ABAGS فإنها تتكون بسرعة فى ABA ـ عنه فى حالة ABA + أو ABA *2-trans* . وجد أن بعض المركبات الأخرى xanthoxin acid ترتبط بسهولة (شكل ١٥٥).



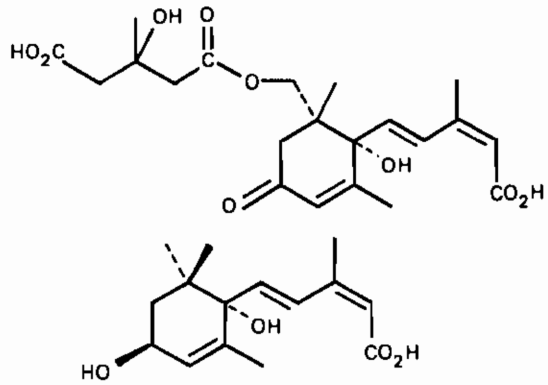
(شكل ١٥٥) : التركيب الجزيئى لحامض xanthoxin.

يتضح مما سبق أن الأكسدة عبارة عن تثبيط متخصص (specific inactivatiom) لـ ABA بينما يعتبر الأرتباط تثبيط غير متخصص (unspecific inactivation) .

يتم تحويل حامض الفاسيك وأيضاً dihydrophaseic acid إلى ABAGE و ABAGS وأيضاً توجد مركبات أخرى لم يمكن تعريفها حتى الآن ولكن قد أستدل عليها بواسطة autoradiography of chromatograms أو بواسطة الأستكشاف لنواتج الفصل لـ HPLC (monitorimg HPLC elution profiles) وجد أيضاً أنه يتكون من hydroxymethyl ABA مركب هو عبارة عن hydroxymethyl glutoryl ABA (شكل ١٥٦) فى بذور الأكاسيا الكاذبة false acacia (*Robinia pseudacacia*). و وجد أيضاً أن ABA يتحول إلى1,4-trans diol ABA فى نبات البسلة (شكل ١٥٦) وأن هذا المركب يحدث له تجفيف dehydration أثناء التسخين أثناء أستعمال glc-mass spectrometry وينتج عنه مركب آخر وهو 4-deoxy ABA .

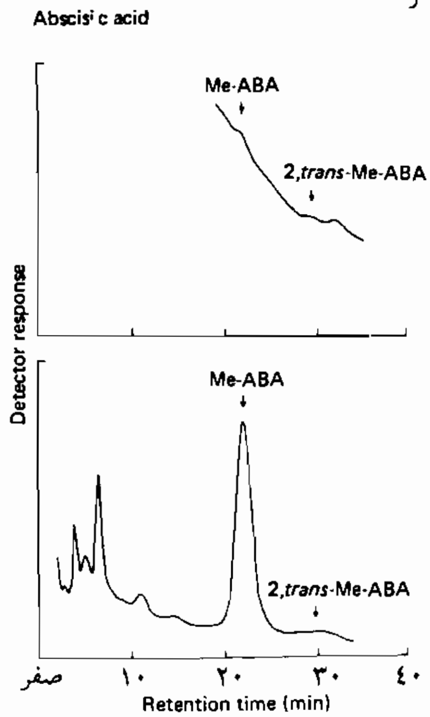
٣- إحداث التشابه Isomerization :

يسبب الضوء تحويل فى تركيب ABA ويصبح مشابه له وهو *2-trans* ABA ويتكون نتيجة لذلك خليط منهما والنسبه بينهما ١ : ١ .وجد أن هذا التغير البسيط فى التركيب يسبب فقد النشاط تماما. عند إختبار *2-trans* ABA فى الظلام وجد أن نشاطه ٢ ٪ فقط من نشاط ABA .



(شكل ١٥٦) : التركيب الجزيئى لمركب hydroxymethyl glutaryl ABA (علوى).
ومركب *1,4-trans diol ABA* (سفلى)

توجد إختبارات كثيرة بجهاز GC لمركبABA أظهرت أن كمية ضئيلة من 2-*trans* ABA موجودة بالأوراق بالرغم من الأحتياطات الشديدة لمنع عملية حدوث التشابه فى أثناء العزل (شكل ١٥٧).وفى أحد التجارب الخاصة بذلك أمكن عمل إستكشاف monitoring لدرجة تحويل ABA إلى شبيهه 2-*trans* ABA وذلك بإضافة racemic ABA مشع أى ABA (C14) – ± إلى بيئة الأستخلاص من النبات.ثم يتم قياس تركيز t-ABA(+) الطبيعى وهو نشط ضوئيا optical activity بواسطة ORD(optical rotatory dispersion) (شكل ١٥٨). ثم يتم قياس تركيز كمية 2-*trans* ABA الذى نتج من تحول جزء من racemic ABA المشع وهو غير نشط ضوئيا optically inactive وذلك أثناء الأستخلاص. وقد وجد أن تركيز هذا 2-*trans* ABA الذى تحول أثناء الأستخلاص من راسيميك ABA المشع هو ١٪.وقد وجد أن ٤٪ من ABA الطبيعى أى endogenous + ABA تحول إلى *trans* ABA. نستنتج من ذلك أن *trans* ABA يوجد طبيعيا فى الأوراق قبل الأستخلاص وليست نتيجة عملية الأستخلاص.أى أن *trans* ABA موجود طبيعيا فى الأوراق كما أن جزء آخر يتكون أثناء الأستخلاص.



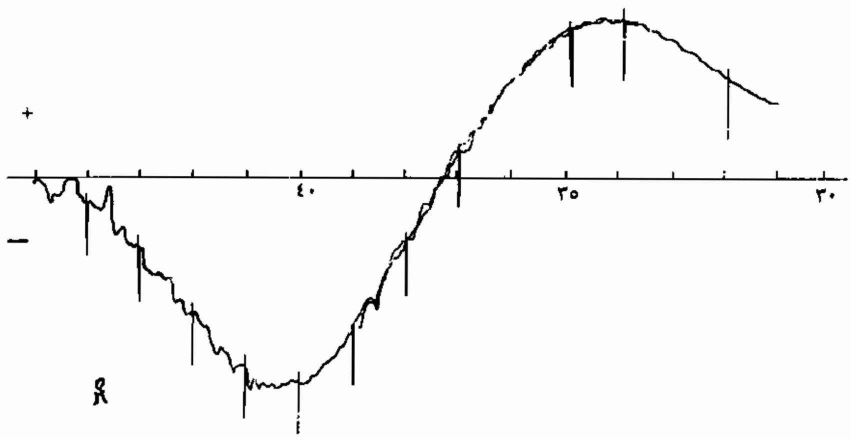
(شكل ١٥٧) : قياس حامض الأبسيسيك ABA

فى مستخلص من براعم نبات brich بواسطة جهاز gas chromatography وذلك بإستخدام flame ionization detector (أعلى) وبواسطة electron capture detector (أسفل). وزن العينة فى القياس الأول ٠,٢٥جم بينما وزن العينة فى القياس الثانى ٠,٠٢٥جم.

حيث أن النشاط الحيوى لمركب *trans*-ABA معدوم وأيضا فشل تحويله إلى ABA وعدم وجوده فى بذور الأفوكادو وفى جذور الذرة أثناء الظلام تثبت أن *trans*-ABA لا يعتبر مركب أصل precursor يتكون منه ABA وإضافة إلى ذلك فإن *trans*-ABA لا يمكن أن يتحول إلى ABA أنزيميا.

يتضح من ذلك أن الاعتقاد قوى فى أن *trans*-ABA عبارة عن ناتج تحلل لـ ABA فى وجود الضوء phytolytic degradatiom. نقطة التوازن بين ABA و t-ABA هى أن تكون النسبة ١ : ١ فى الأوراق ولكن لا يحدث ذلك مطلقا لأن سرعة إرتباط t-ABA مع السكريات وخاصة الجلوكوز تفوق سرعة إرتباط ABA عشرون

مرة. وجد أن سرعة تكوين ABA فى أوراق الفاصوليا الفرنساوى french beans فى الأوراق الذابلة هى حوالى ثلاث إلى ستة ساعات ولذلك فإنه يوجد بإستمرار إنتاج ل ABA ونقص لـ t-ABA حيث أنه يصبح مرتبط.



(**شكل ١٥٨**) : طيف حامض الأبسيسيك بأستخدام طريقة التشتت الدورانى الضوء بصرى optical rotatory dipersion spectrum (ORD) وذلك فى حالة ABA المستخلص من ثمار الأفوكادو.يعتبرالخط الأفقى هو درجة تشتت دورانى بصرى مقدارها صفر.

يعتبر التشتت أعلى الخط الأفقى (+) وأسفل الخط الأفقى (–) وكلما زاد البعد عن الخط الأفقى كلما زاد التشتت.تمثل الأرقام على الخط الأفقى رقم الموجة حيث أن ٤٠ تكون فى منطقة الأشعة الفوق بنفسجية عند طول موجة ٢٥٠ نانومتر ورقم الموجة ٣٠ تقع فى نهاية الضوء الأزرق للطيف الضوئى عند طول موجة ٣٣٣ نانومتر.يعتبر رقم الموجة ٤٣,٦ هو الأمثل لقياس تركيز ABA وهو عند طول موجة ٢٨٩ نانومتر.تحتوى العينة المستعمة على ٦,٤ ميكروجرام ABA+ لكل مل فى محلول ميثانول حامضى.

العلاقة بين تركيب ABA ونشاطه :

وجد أن أى تغيير بسيط فى تركيب جزيئ ABA يقلل من كفاءته وعادة يمنع نشاطه نهائيا. وتعتبر مـن الأجـزاء الهامة لنشاط الجـزيئ مجمـوعة الكـربوكسيل وtertiaryhydroxyl مع 2-cis وأيضا الرابطة المزدوجة الموجودة فى الحلقة. يوجد ثلاث نواتج تحلل لمركب ABA وهى حامض الفاسيك وABAGE وABAGS وهى تتكون نتيجة لفقد أحد الثلاث مجاميع السابقة.زيادة قطبية المرتبطات تساعد على تجمعها فى الفجوات العصارية.

التركيزات المختلفة لـ ABA أثناء الحالات المختلفة للنبات Turnover :

تم قياس التركيزات المختلفة للمـــركبات المختلفة المشعة وهـــى و ABA (^{14}c) و PA(C^{14})و DPA (C^{14}) فى أوراق الفاصوليا الفرنساوى french bean أثناء إنتفاخ خلايا الورقة وأيضا أثناء الذبول.وجد أن تركيز endogenous ABA أى تركيزABA الطبيعى فى النبات هو ٤٠ ميكروجرام / كجم ثم يزداد حتى يصل ٥٠٠ ميكروجرام/كجم فى أثناء الذبول.كما وجد أن نتيجة تغذية الورقة بـ ABA(C^{14}) نتج عنه تحلل تدريجى مستمر إلى حامض الفاسيك ثم dihydrophaseic acid ومع ذلك تظل النباتات ذابلة (شكل ١٥٩) .وجد أن سرعة تخليق حامض الفاسيك أى هدم ABA هى ١٥٠ ميكروجرام لكل كيلوجرام لكل ساعة.

يمكن القول ومع وجود أدلة على ذلك أن تخليق وهدم ABA يكون سريع أثناء ذبول الأوراق.

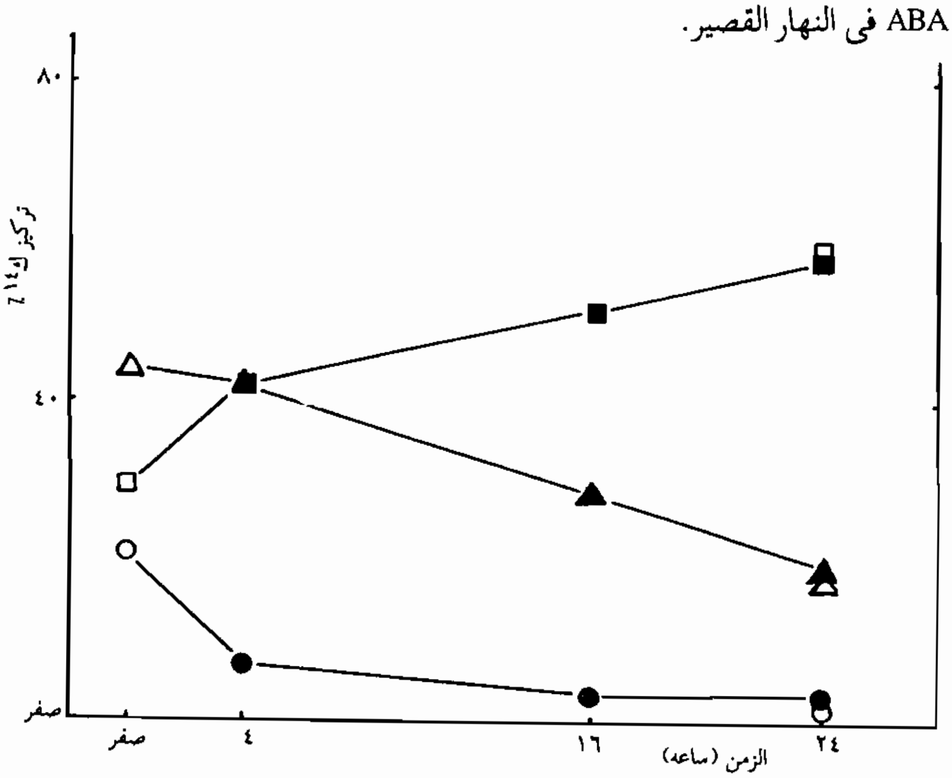
التأثيرات المختلفة لحامض ABA :

يوثر ABA تأثيرات عديده على النبات منها مايأتى :

١ - سكون البراعم Bud Dormancy

يحدث سكون للبراعم فى النباتات متساقطة الأوراق وأيضا فى الأشجار الخشبية مثل و *Betula* و *Acer* و *Fraxinus* وذلك عند حلول فصل الخريف حيث يتوقف البرعم عن النمو وتصبح القمة النامية للبرعم وأيضا الجزء الخضرى من البرعم مغطاة بأوراق حرشفية وقد تبطن الأوراق الحرشفية من الداخل بشعيرات دقيقة

لتساعد على تدفئة البرعم وقد تتكون صموغ على الأوراق الحرشفية لأحكام غلقها كما تصبح السلاميات قصيرة.يتحكم فى هذه النباتات طول الفترة الضوئية حيث أن النهار القصير يسبب سكون البراعم والعكس صحيح حيث أن النهار الطويل يسبب نمو البراعم ولذلك تحدث هذه التغيرات سنويا فى الأشجار فى الخريف والربيع.تعتبر الأوراق المكتملة النمو هى المستقبلة لتاثير النهار القصير أى أنها تشعر بالنهار القصير وتتجاوب معه.ومن الثابت الآن أن الأوراق المكتملة النمو هى مكان أساسى لتخليق ABA فى النهار القصير.



(شكل ١٥٩) : turnover حامض الأبسيسيك المعلم (المشع) ABA(^{14}C-2)+ فى أوراق الفاصوليا الذابلة.تم معاملة عينات من الأوراق نضرة أو ذابلة بواسطة ABA معلم لمدة ستة ساعات.يتم تحلل ABA بسرعة بينما كمية الكربون المشع ^{14}C فى DPA تزداد أثناء نقص تركيز PA.

ABA فى الأوراق النضرة (دائرة بيضاء) وفى الأوراق الذابلة (دائرة سوداء).PA فى الأوراق النضرة (مثلث أبيض) وفى الأوراق الذابلة (مثلث أسود).DPA فى الأوراق النضرة (مربع أبيض) وفى الأوراق الذابلة (مربع أسود).

ثم ينتقل ABA فى اللحاء أو الخشب حتى يصل إلى البرعم الطرفى ويسبب السكون.

تحتاج البراعم فى هذه الحالة إلى فترة من درجة الحرارة المنخفضة لكى تنمو ويحدث ذلك فى فصل الشتاء ولذلك تنمو البراعم فى الربيع نتيجة لوجود نهار طويل وأيضا نتيجة لتعرضها فى فترة سابقة إلى درجة حرارة منخفضة.

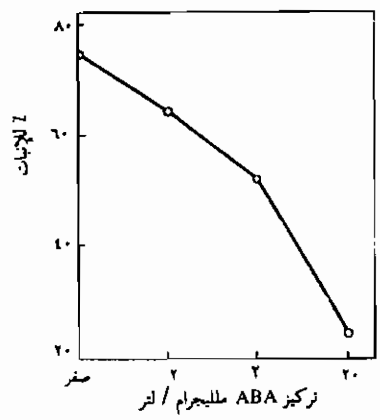
عند زراعة نبات عدس الماء *Lemna* فى بيئة مائية صناعية مضاف إليها حامض ABA فإن نمو النبات يتوقف وتتكون تراكيب معينة تسمى turions وهو تعتبر براعم ساكنة.

يعتقد أيضا أن ABA له دور فى سكون براعم درنات البطاطس.

حديثا يوجد شك كبير فى أهمية ABA فى أحداث سكون البراعم وقد يكون له دور فى ذلك ولكنه قد لا يكون العامل الرئيسى فى ذلك.

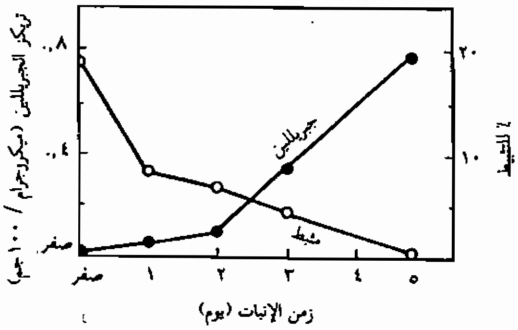
٢ - كمون البذور Seed Dormancy

يثبط ABA إنبات بذور كثيرة من النباتات مثل بذور الخس للصنف Great Lakes (شكل ١٦٠). تحتوى البذور الكامنة على ABA وأيضا جدر الثمار.تظل بذور التفاح ساكنة حتى تتعرض لدرجة حرارة منخفضة أو لعملية كمر بارد stratification. تحتوى هذه البذور الكامنة على ABA. وفى أثناء درجة الحرارة المنخفضة أو الكمر البارد ينخفض تركيز ABA ويزداد تركيز الجبريللين. أيضاً أثناء عملية الكمر البارد ينخفض تركيز ABA فى بذور الورد والخوخ و *Fraxinus*. يمكن أيضا منع بذور التفاح من الأنبات بعد عملية الكمر البارد وذلك بمعاملتها بـ ABA. يمكن أيضا مساعدة بذور التفاح على الأنبات بدون الكمر البارد عند معاملتها بالجبريللين.



(شكل ١٦٠) : تأثير ABA على إنبات بذور الخس صنف Great Lakes و Grand Rapids

ومن ذلك يتضح أن سكون البراعم وكمون البذور يحدث نتيجة لزيادة ABA وقلة الجبريللين وعند الأنبات يكون العكس صحيح أى أن ABA والجبريللين لهما دور عكسى فى ذلك.وذلك على الأقل فى بعض النباتات (شكل ١٦١).



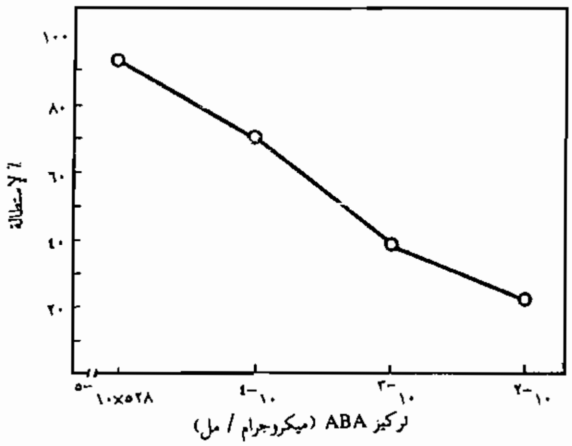
(شكل ١٦١) : تأثير تركيز الجبريللين و ABA على إنبات البذور (بذور نبات birch).

حديثا يوجد شك فى أهمية ABA فى عمل كمون للبذور وقد لا يمكن تعميم تأثيره على جميع البذور.

٣ ـ نمو الساق Stem Growth

تسبب المعاملة بـ ABA تثبيط نمو الساق وأيضا غمد الريشة والسويقة الجنينية السفلى hypocotyl.وبعد فترة وبعد زوال تأثير ABA فإنه يحدث نمو لهذه الأجزاء.

وفى النباتات الحولية لا تحدث عملية سكون للبراعم ولكن يسبب ABA تثبيط نمو الساق (شكل ١٦٢).



(شكل ١٦٢) : تأثير ABA على نمو أجزاء من غمد الريشة لنبات القمح.

٤ - نمو الجذور Root Growth

تسبب المعاملة بـ ABA تثبيط نمو الجذور. يحدث أيضاً تثبيط فى نمو الجذور عند تعريضها للضوء.

ثبت أن تأثير الضوء على تثبيط نمو الجذور نتيجة لزيادة تركيز ABA فى جذور البسلة طبيعياً أى endogenous ABA.

٥ - الأزهار Flowering

تسبب المعاملة بـ ABA أزهار نباتات الشليك و blackberry فى النهار الطويل بالرغم من أن هذه النباتات لاتزهر فى النهار الطويل بل تزهر فى النهار القصير فقط. والعكس صحيح حيث أن المعاملة بـ ABA تمنع أزهار نبات النهار الطويل فى بعض الحالات مثل السبانخ و *Lolium*.

وغير معروف ميكانيكية ذلك.

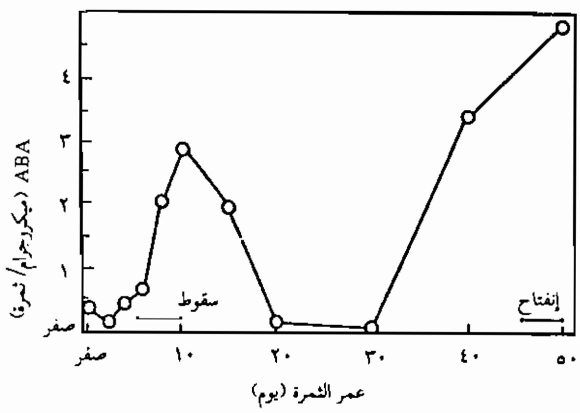
٦- تكوين الثمار والبذور Fruit and Seed Development

توجد كثير من التجارب والبيانات فى هذا الموضوع إلا أنها قد تكون متضاربة أو لا يمكن تعميمها . ولذلك فإنه يمكن القول بأن ABA ليس له دور واضح محدد فى ذلك وأن كل نبات له حالة خاصة .

٧- سقوط الأوراق Abscission

فى حالة نبات القطن يزداد تركيز ABA إلى الضعف أثناء نمو وتكوين اللوزه.

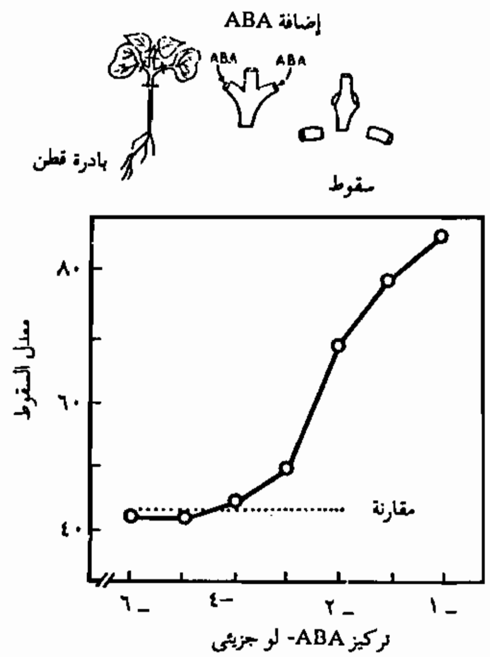
يوجد فترتين يزداد فيهما تركيز ABA أثناء نمو ونضج الثمرة. تحدث الفترة الأولى أثناء سقوط الثمار الصغيرة السن immature fruit shedding وتحدث الفترة الثانية أثناء تفتح اللوز (شكل ١٦٣) .



(شكل ١٦٣) : تركيز ABA أثناء نمو لوز القطن.

تسبب المعاملة بــ ABA سقوط أعناق أوراق بادرات القطن (شكل ١٦٤) وأيضا الفاصوليا و *Coleus* وغيرها.يلاحظ أن المعاملة على أعناق الأوراق المنزوع نصلها debladed petiole stumps وليست على الأوراق العادية.وجد أن تركيز ١٠$^{-٤}$ جزيئى من ABA كافية لسقوط أعناق الأوراق الفلقية فى بادرة القطن وأنه بزيادة التركيز يزداد سقوط الأعناق (شكل ١٦٤) . ووجد أن هذه المعاملة أو حتى تكرارها

لعدة مرات على أوراق بادرة أو نبات القطن العادية لا تسبب سقوطها وتعليل ذلك غير معروف.تأثير هذا الهورمون علي سقوط الأوراق من النبات السليم ضعيف ويرجع الأساس في سقوط الأوراق إلي الإيثيلين والأوكسين.



(شكل ١٦٤) : تأثير ABA على سقوط الأوراق الفلقية لبادرة القطن (أعلى) ـ تأثير تركيز ABA على سقوط الأوراق الفلقية لبادرة القطن (أسفل)

٨ ـ الشيخوخة Senescence

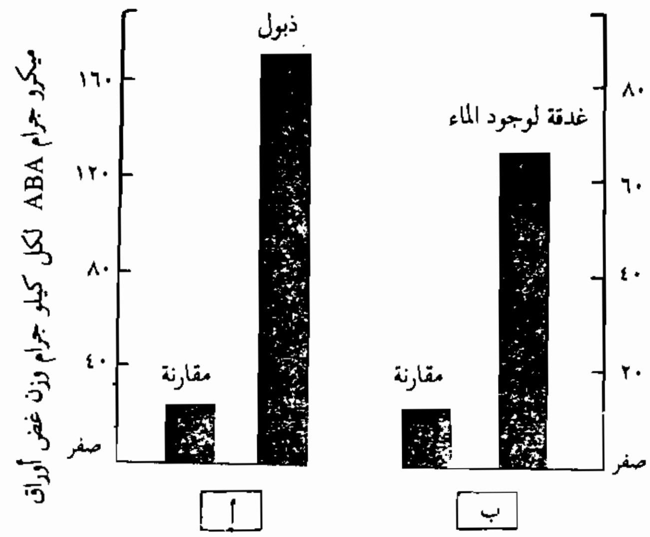
وجد أن تعويم أواراق نبات أبو خنجر علي الماء يسبب الشيخوخة لهذه الأوراق ومن مظاهر الشيخوخة فقد في الكلوروفيل وإنخفاض تركيز البروتين وRNA. وجد أن تعويم floating أوراق هذا النبات علي محلول مائي يحتوي ABA فإن هذه المعاملة تسرع من أعراض الشيخوخة.يكون النقص في تركيز البروتين في هذه الحالة راجع

إلى إنخفاض معدل تخليق البروتين عنه عن هدم البروتين protein degradation

٩ ـ الظروف البيئية القاسية Environmental Stress وتركيز ABA

عند تعريض البادرة لظروف جفاف الماء أو بغمر الجذور فى محلول carbowax فإن الأوراق تبدأ فى الذبول .وبعد دقائق معدودة يزداد تركيزABA فى الأوراق الذابلة كما توجد علاقة تناسب طردية بين تركيز ABA ودرجة الذبول .ونتيجة لذلك يزداد تخليق ABA ولا تكون الزيادة فى التركيز نتيجة لتحررABA من الجلوكوز أى من صور ABA المقيدة والمرتبطة أى أن زيادة التركيز نتيجة لتخليق جزيئات جديدة وليست لتحرر ABA من glucoside . وقد أمكن إثبات ذلك فى تجارب كثيرة بإستعمال mevalonic مشع به ك١٤ حيث ظهر الإشعاع فى ABA .

أجريت هذه التجارب على بادرات قمح وقد حدث نفس التأثير فى الطماطم والسبانخ وقصب السكر وخلافه (شكل ١٦٥) .



(شكل ١٦٥) : أ ـ تركيز ABA فى أوراق بادرة القمح ذابلة فى محلول carbowax.

ب ـ تأثير التربة الغدقة المحتوية على الماء لمده خمسة أيام على تركيز ABA فى نباتات فاصوليا قزمية.

يحدث نفس التأثير عند تعريض البادرات والنباتات لظروف قاسية حيث أن التربة غدقة waterlogging حيث يزداد تركيز ABA فى داخل النبات endogenous ABA ويحدث الذبول (شكل ١٦٥).

يحدث نفس التأثير عند تعريض البادرات والنباتات لملوحة زائدة salinity stress أو عواصف حيث يزداد تركيز ABA.

أيضا عند نقل النباتات من المشتل إلى الحقل أى شتلها فإنها تتوقف عن النمو فترة وتظهر درجة بسيطة من الذبول وفى هذه الأثناء يزداد تركيز ABA ثم يستعيد النبات نموه بعد فترة ويصبح عاد غير ذابل ولذلك يقل تركيز ABA.

زيادة تركيز ABA تسبب غلق الثغور ويحدث ذلك لصالح النبات حيث يقلل من النتح وبذلك تمنع فقد الماء من النبات وبالتالى فإن النبات يمكن أن يقاوم الظروف البيئية غير الملائمة.

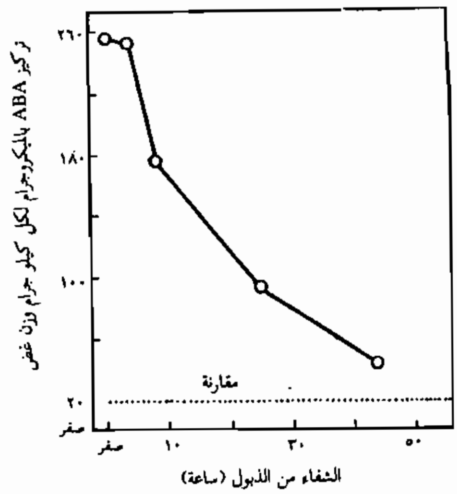
فى جميع الحالات السابقة يسبب الأعتدال فى الرى إن يصبح النبات عاد وغير ذابل وتصبح الخلايا turgid منتفخة ويقل فى هذه الأثناء تركيز ABA (شكل ١٦٦).

يحتاج فتح الثغور إلى فترة لكى تتخلص من التركيز الزائد لـ ABA .

١٠ - فتح وغلق الثغور Opening and Closing of Stomata

تسبب المعاملة بـ ABA غلق الثغور.أمكن إثبات ذلك فى سلخ أى نسيج البشرة من ورقة *Commelina communis* . زيادة تركيز ABA تسبب زيادة تدريجية فى غلق الثغور وخاصة فى التركيزات بين $١٠^{-٩}$ إلى $١٠^{-٤}$ جزيئى.أمكن إثبات ذلك أيضا على ثغور أوراق نبات *Xanthium* وذلك على الأوراق العادية وأيضا على نباتات أخرى.

وجد أن سم أحد الفطريات وهو fusicoccin يسبب فتح الثغور أى أن تأثيره عكسى لحامض ABA.



(شكل ١٦٦) : تأثير إعادة الرى على نقص تركيز ABA في نموات نباتات brussel والتى كانت تعانى من الذبول.

وجدت طفرة فى نبات الطماطم تسمى flacca حيث أن نباتات هذه الطفرة تعانى من ذبول مستمر ودائم حيث أنها غير قادرة على غلق الثغور وقد فسر ذلك هو نتيجة لنقص تركيز ABA. وبقياس تركيز ABA فى هذه النباتات الطفرة أتضح أن هذه النباتات تعانى من نقص فى ABA. وبمعاملة هذه النباتات بهذا المركب أىABA تم غلق الثغور.ومما هو جدير بالذكر أن تطعيم نباتات طماطم عادية على أصل من نبات طفرة flacca ينتج عنه نبات ذو ذبول مستمر ودائم.

١١ ـ ضغط الأنتفاخ للخلايا Turgor pressur of cells

وجد أن زيادة ضغط الأنتفاخ تقلل من وجود ABA والعكس صحيح فعند الذبول يزداد تركيز ABA .عند تعريض نبات القطن لظروف بيئية شبه جافة قليلة الماء فإن ضغط الأنتفاخ يقل وينعدم ويحدث تجمع لـ ABA.

١٢ ـ مقاومة الضرر للنبات Resistance to injury

وجد أن معاملة النباتات العادية (الوسطية mesophytic plants) بـ ABA يسبب تحمل النباتات للجفاف أى مقاومة الجفاف. وجد أن السويقة الجنينية الوسطية

mesocotyl في الزمير يمكن أن تتحمل تركيزات عالية من إندول حامض الخليك. حيث وجد أن معاملة أجزاء أى قطع من السويقة الجنينية الوسطى بتركيز من إندول حامض الخليك ٥٠ ملليجرام لكل لتر يسبب موتها. ولكن في وجودABA بتركيز ٢ملليجرام/ لتر تصبح هذه القطع سليمة عادية وحتى في تركيزات أعلى من أندول حامض الخليك تصل إلى مائة ملليجرام لكل لتر. وجد أن معاملة النبات الكامل في الأسفندان *Acer negundo* والتفاح والبرسيم الحجازى والخيار بهذا الهورمون تزيد من مقاومتهم لضرر البرد القارص chilling injury .

١٣ ـ التأثير علي التفاعلات السريعة والبطيئة Fast and Slow reactions

وجد أنه بعد تخليق racemic ABA حيث أنه يحتوي علي كميات متساوية من (+)، (−) وقد أمكن فصل هذين النوعين عن بعضهما.وجد أن كلا المشابهين لهما نفس التأثير والنشاط في أختبار الجنين embryo bioassay. تعتبر هذه النتيجة فريدة حيث أنه من المعتاد أن يكون أحد المشابهين فعال ونشط والآخر يكون ضعيف أو غير فعال.وجد آن المشابهين ينفذان إلي داخل الخلايا ويدخلان في خطوات التحول الغذائي. ولكن تختلف سرعة حدوث ذلك في كل مشابه.وجد أن ABA الطبيعي وهو المشابه (+) يسبب غلق الثغور بسرعة بعد عدة دقائق من المعاملة بينما المشابه غير الطبيعي (−) له تأثير ضعيف في ذلك.وجد أن كلا المشابهين يسببان تثبيط إنبات البذور وأيضاً تثبيط تخليق البروتين.لذلك فإن المشابة (+) له تأثير مثبط سريع وبطيء slow reaction and fast reaction بينما المشابه (−) له تأثير مثبط بطيء فقط.

١٤ـ تخليق وأنتقال وتوزيع الهورمون داخل الخلية

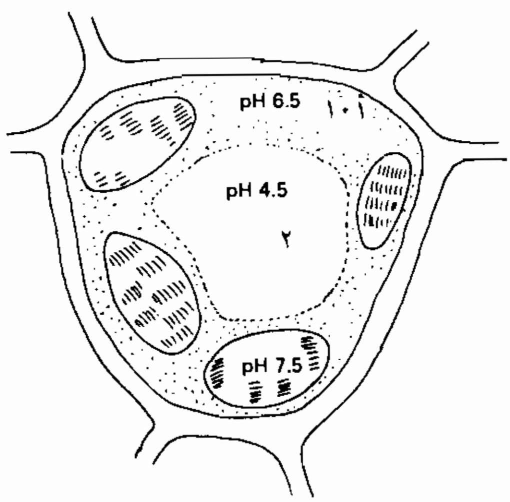
Intracellular compartmentation, synthesis, transportation and distribution

وجد Heilmann وزملاؤه عام ١٩٧٩ أن تخليق ABA لا يحدث في البلاستيدات الخضراء وهو العكس تماماً لما هو معروف. فأن تخليق ABA يحدث في سيتوبلازم الخلية ثم ينتقل إلي عضيات ومكونات الخلية المختلفة وكان ذلك في

خلايا أوراق نبات السبانخ. وجد أن تركيز ABA يكون عال في البلاستيدات الخضراء لأن رقم pH ستروما البلاستيدات الخضراء يكون أعلي من أي مكان آخر في الخلية وخاصة في وجود الضوء.

يحدث تجمع لـ ABA في صوره أيونية ionized form حيث أنه كلما قل رقم pH كلما قل تجمع وتركيز الهورمون. ففي السيتوبلازم يكون تركيزه أقل من البلاستيدات الخضراء حيث أن رقم pH في الأستروما ٧,٥ وفي السيتوبلازم ٦,٥ وفي الفجوة العصارية يكون تركيزه منخفض جداً لأن pH هو ٤,٥ (شكل ١٦٧). يعتبر ذلك التوزيع خاص بـ ABA الحر.وجد أن بعض جزيئات ABA توجد في صورة غير مرتبطة unconjugated ولكن في صورة مقيدة bound form (يوجد فرق كبير بين ABA المرتبط وبين ABA المقيد حيث أن المقيد يكون مرتبط بجزيئ كبير بطريقة ما).

bound form =not conjugated but attached to a macromolecule in some way



(شكل ١٦٧): توزيع ABA فى خلايا ميزوفيل الورقة.يعتبر ABA حامض ضعيف وتدل الأرقام على التركيز النسبى للحامض فى كل جزء أو عضيه من الخلية.

وذلك فى داخل البلاستيدات الخضراء.حيث أن البلاستيدات الخضراء المعزولة من الأوراق الذابلة تحتوى على كمية قليلة جدا من المقيد بالمقارنة بالبلاستيدات الخضراء المعزولة من الأنسجة والأوراق النضرة.حيث وجد أن تركيزABA المقيد فى البلاستيدات الخضراء للأوراق العادية ٩٥ ٪ بينما تركيزه فى الأوراق الذابلة ١٥ ٪.

١٥ ـ نفاذية الخلايا Cell permeability

وجد أن ABA يقلل نفاذية أعناق أوراق الخروع لأيون البوتاسيوم وأيضا يقلل من تجمع السكروز داخل الأنابيب الغربالية (اللحاء). يسبب ABA خفض نفاذية الخلايا فى بعض الحالات.

١٦ ـ التأثير علي تخليق الأنزيمات ونشاطها

Effect on enzyme activity and synthesis

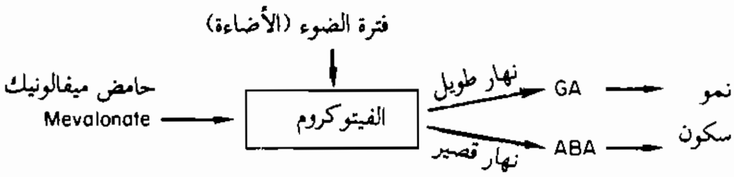
وجد أن ABA لا يؤثر على نشاط الأنزيمات بل يؤثر على تخليقها.ومن أفضل الأمثلة المدروسة فى ذلك تكوين أنزيم ألفا أميليز فى طبقة أليرون حبوب الشعير حيث وجد أن تشجيع تخليق هذا الأنزيم بواسطة إضافة الجبريللين وتثبيط تخليق هذا الأنزيم بإضافة ABA.

يعتقد أن تأثير ABA هو تأثير جزئى على الأقل فى منع أو إختلال أو ضعف عملية الترجمة translation فى تخليق البروتين.حيث وجد أن ABA يثبط تكوين بروتين أنزيم ألفا أميليز حتى ١٢ ساعة من المعاملة وفى هذه المدة يعتبرcordycepin (سم ينتج بواسطة فطر بازيدى ويمنع تخليق RNA) غير قادرعلى القيام بعملية التثبيط أى يفقد تأثيره.أى أن ABA له تأثير مانع لتخليق البروتين لمدة أطول بالمقارنه بـ cordycepin.

الفيتوكروم وحامض الأبسيسيك

عندما تعامل القمم النامية لنبات *Betula* أو نباتات خشبية أخرى فإنها تنتج أعراض تشابة حالات السكون على هذه القمم مثل تقصير طول السلامية وإنتاج أوراق

حرشفية صغيرة بدلا من الأوراق الخضراء العادية كما أن الأنقسام الغير مباشر للقمم النامية يقل بدرجة كبيرة جدا مع ملاحظة سقوط بعض الأوراق القريبة من القمم النامية كما أنها تسبب كمون البراعم وعدم نموها وقد وجد علاوة على ذلك أنها تسبب كمون البذور حيث أنه عند معاملة بذور قابلة للأنبات بهذا المركب فإنها لا تنبت إلا بعد غسيل البذور جيدا أو معاملتها بالجبريللين أو الكينتين لتساعد فى إنباتها ومن ذلك يتضح أن حامض الجبريلليك وحامض الأبسيسيك يمكن أن يشتق كل منهما من mevalonic acid وأيضا كل من المركبين له تأثير فسيولوجى مختلف عن الآخر ولكنهما يتكونا أيضا وإلى حد كبير من نفس metabolic pathway ولذلك يمكن للنبات أن يتحكم فى انتاج واحد دون الآخر عن طريق switching وحيث أن الجبريللينات تتكون فى أيام ذات النهار الطويل وحامض الأبسيسيك يتكون فى الأيام ذات النهار القصير.فمن المعتقد أن يكون التحكم عن طريق الفيتوكروم ففى النهار القصير يتأثر الفيتوكروم وينتج حامض الأبسيسيك وفى النهار الطويل يتأثر الفيتوكروم وينتج الجبريللينات (شكل ١٦٨).



(شكل ١٦٨): علاقة الفيتوكروم بطول وقصر النهار وتخليق الجبريللينات وحامض الأبسيسيك وحدوث النمو والسكون. يلاحظ أن كلا من الجبريللينات وحامض الأبسيسيك تشتق من حامض الميفالونيك.

وجد أيضا أن نقص العناصر الغذائية وقلة المياه للنبات كلها تسبب زيادة تركيز ABA وزيادة ABA تسبب قفل الثغور لتقليل النتح.

ميكانيكية فتح وغلق الثغور وحامض الأبسيسيك

يتكتون ABA فى ظروف من water stress أى فى وجود قلة من الماء أو عدم توفر الماء. وقد وجد فى حالة نقص الماء أن حامض الأبسيسيك يزداد تركيزه فى

الأوراق وأن هذا الحامض يساعد على سرعة غلق الثغور عن طريق تحكمه فى الخلايا الحارسة.

من المعروف أن أيون البوتاسيوم فى الليل ينتقل من العصير الخلوى للخلايا الحارسة إلى خلايا البشرة المجاورة ولذلك يقل الضغط الأسموزى لهذه الخلايا فترهل وتغلق الثغور أما فى النهار فأن أيون البوتاسيوم ينتقل من الخلايا المجاورة للخلايا الحارسة إلى الخلايا الحارسة حيث ينتقل الماء إلى الخلايا الحارسة وتسبب فتح الثغر نتيجة لانتفاخ الخلايا الحارسة ونجد أن الخلايا المساعدة وغيرها من الخلايا المحيطة بالخلايا الحارسة فى البشرة تعمل كمخزن حيث يختزن فيها أيون البوتاسيوم عندما تغلق الثغور.

وقد وجد أن حامض ABA يساعد أيون البوتاسيوم على ترك الخلايا الحارسة فترهل ويغلق الثغر وبذلك يقل فقد الماء من النبات وبذلك يتحمل النبات فترات نقص الماء water stress. وعند وضع الماء للنبات فأن الخلايا الحارسة لا تفتح مباشرة بل تأخذ أولاً وقت معين قبل الانفتاح لكى ينخفض تركيز حامض ABA فى الخلايا الحارسة ثم بعد ذلك ينتقل إلى الخلايا الحارسة أيون البوتاسيوم من الخلايا المجاورة وتمتص الخلايا الحارسة الماء وتفتح الثغور.أى أن ABA يعمل على خروج أى طرد أيون البوتاسيوم من الخلايا الحارسة.

طرق تقدير حامض الأبسيسيك

توجد طرق مختلفة لتقدير تركيز ABA ومنها طرق حيوية وطرق كيماوية.

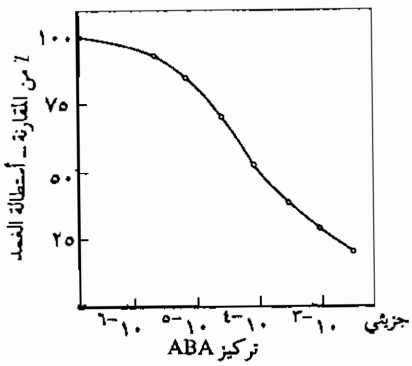
أولاً : طرق حيوية تستخدم فيها النباتات Bioassay

توجد طرق كثيرة منها ما يأتى:ـ

١ ـ تثبيط نمو غمد الريشة في نبات القمح:

عند معاملة غمد الريشة بتركيزات مختلفه من هذا الحامض فأن سرعة النمو تقل

بزيادة التركيز. كلما زاد تركيز ABA كلما قل نمو غمد الريشة كما فى standard curve المنحنى القياسى (شكل ١٦٩).



(شكل ١٦٩) : العلاقة بين تركيز حامض ABA وأستطالة غمد الريشة للقمح.

٢ ـ انبات البذور:

فى حالة المقارنة تكون نسبة الانبات كبيرة أما البذور المعاملة تقل نسبة الانبات. وكلما زاد تركيز الحامض كلما قلت نسبة الانبات. تستخدم فى ذلك بذور الخس صنف Grand rapids (شكل ١٦٠).

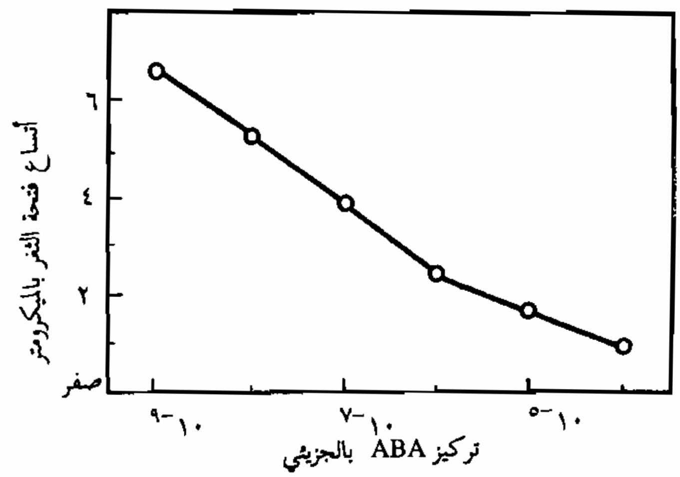
٣ ـ معاملة الذرة العادية:

عند معاملة نباتات الذرة العادية بهذا المركب فإنه يسبب تضاد لعمل مركبات الجبريللين فى النبات ذو الطول العادى مما ينتج عنه قصر طول النبات.بإستعمال تركيزات مختلفة وحساب درجة النقص فى الطول ورسم منحنى قياسى. من هذا المنحنى يمكن استنتاج تركيز حامض ABA المجهول.كلما زاد تركيز ABA كلما أزداد قصر النبات.

٤ ـ طريقة غلق الثغور:

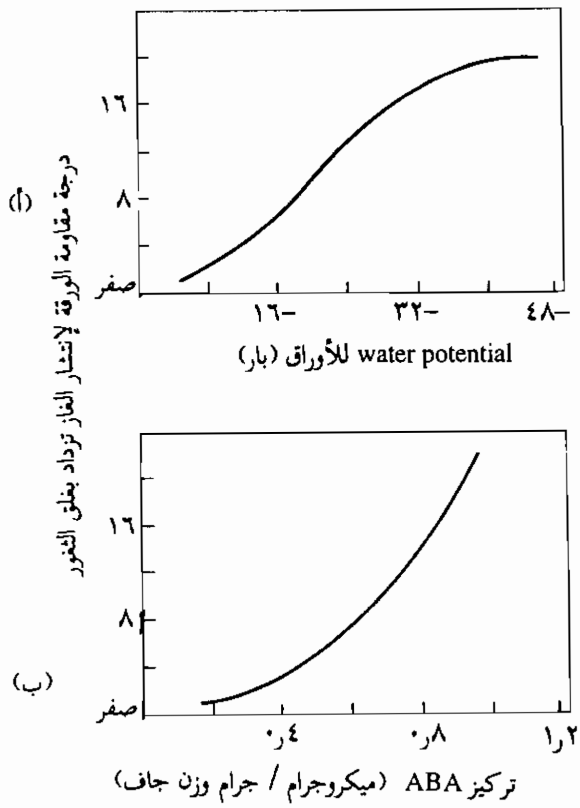
باستخدام أجزاء من أوراق نبات *Commelina communis* وتعويم هذه الاجزاء على محلول من ABA فى عدم وجود ك أ٢ أوتعامل أجزاء الورقة بقطرات من

حامض ABA فى عدم وجود ك أ٢ فأن الثغور ستقفل بزيادة تركيز حامض الابسيسيك.مده التجربة هى ٣ ساعات. بعد أنتهاء التجربة يمكن رسم منحنى يوضح العلاقة بين التركيز وفتحة الثغر. وتوضح درجة فتح الثغور على المحلول الصادى وتركيز ABA على المحور السينى (شكل ١٧٠).



(شكل ١٧٠) : تأثير تركيز ABA علي إتساع فتحة الثغر في بشرة أوراق *Commelina communis*

يمكن عمل ذلك أيضاً فى حالة نبات *Heliathus decapetalus* حيث يمكن قياس سعة أو مساحة فتحة الثغر عن طريق إمرار تيار غاز. كلما زادت المقاومة لإنسياب الغاز خلال الثغور كان ذلك دليلاً على ضيق فتحة الثغر والعكس صحيح. يمكن رسم منحنى يوضح العلاقة بين تركيز ABA ودرجة مقاومة إنسياب الغاز (شكل ١٧١).



(شكل ١٧١) : العلاقة بين water potential للأوراق وإتساع فتحة الثغر وتركيز ABA فى الأوراق فى نبات عباد الشمس *Helianthus decapetalus*. تقاس فتحة الثغر بدرجة مقاومة الثغر لأنسياب الغاز خلاله وكلما زادت درجة المقاومة كان ذلك دليل على ضيق مساحة فتحة الثغر.

أ – كلما زادت سالبية water potential فى خلايا الأوراق كلما صغرت مساحة فتحة الثغر.

ب ـ تتناسب درجة غلق الثغر مع تركيز ABA طردياً.

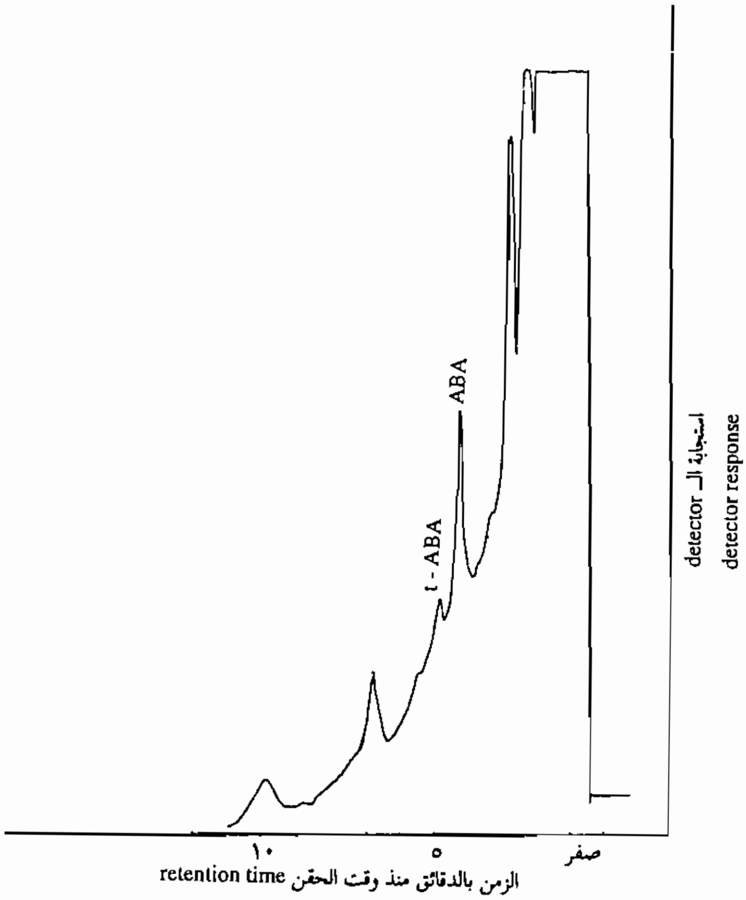
ثانياً : طرق كيماوية

يتم إستخلاص ABA بواسطة كحول الإيثيل أو الميثيل.

١ ـ طريقة Gas Chromatgraphy :

يتم حقن العينة فى الجهاز ومن المنحنى الناتج من الجهاز يمكن الإستدلال على وجود الحامض أو عدم وجوده كما يمكن تقدير وحساب تركيزه فى العينة.

لتقدير ABA بهذه الطريقة لابد من تحويله إلى مركب methyl ester of ABA ثم يحقن هذا المركب الأخير فى الجهاز. تعتبر هذه الطريقة حساسة حيث يمكن أن تقيس تركيزات منخفضة جداً مائة femtogram fg (١×١٠^{10} جرام). يفضل إستعمال (electron capture detector) EC (شكل ١٧٢) حيث أنه أكثر حساسية بدرجة كبيرة آلاف المرات (٦٠٠٠ مره) لقياس ABA بالمقارنة بـ flame . ionization detector



(شكل ١٧٢) : كروماتوجرام يوضح وجود كميات ضئيلة من 2-trans-ABA فى مستخلص من أوراق طماطم فى الظلام.

تم حقن ١, جرام مستخلص أوراق الطماطم فى جهاز التحليل الكروماتوجرامى الغازى.

٢ - الطريقة (GLC) Gas Liquid Chromatography

تعتمد طريقة التحليل الكروماتوجرافى الغازى السائل gas liquid chromatography (GLC) على تحضير وتطاير مشتقات الحمض المختلفة مثل مشتقات ثلاثى الميثيل سيليل (ABA trimethyl silyl)، وتنقى العينة فى العادة بالكربون النشط وتخلط بمواد مثل بس - تراى ميثيل سيليل أسيتاميد bis-trimethylsilyl acetamide لكى ينتج مشتق حمض الأبسيسيك تراى ميثيل سيليل trimethylsilyl derivative of ABAوتقاس المشتقات المختلفة بعد ذلك بطريقة التحليل الكروماتوجرافى الغازى السائل (GLC) وتنسب إلى كمية معلومة من محلول الحمض المعامل بنفس الطريقة، وهذه الطريقة حساسة جداً ولها المقدرة على تقدير كمية من حمض الأبسيسيك فى حدود ٠٫٠٣٠ ميكروجرام من المواد المشابهة جداً للحامض ـ ويجب أخذ الحذر فى تحضير مشتقات تراى ميثيل سيليل trimethyl silyl واستعمال أعمدة (GLC) ومعايرة calibration الجهاز.

٤ - طريقة Optical Rotary Dispersion Spectrum-ORD.

طرق التحليل الطيف مقطابية Spectropolarimetric Analysis

يعتبر حامض الأبسيسيك فريداً فى تركيبه حيث أن ذرة الكربون الأولى الغير متناظرة فى الحلقة (اليد المركزية a chiral center) تقدم لنا وسيلة للكشف عن الحمض باستخدام التشتت الدورانى الضوء بصرىoptical rotary dispersion (ORD) الخاصة بالحمض واستغلت هذه الخاصية لعمل التقديرات الكمية والنوعية لحمض الأبسيسيك فى مستخلصات على درجة معتدلة من النقاوة (شكل ١٥٨).

وتحسين طريقة (ORD) يستلزم استخدام كل من طريقة (ORD) أى التشتت الدورانى الضوئى وامتصاص الأشعة فوق البنفسجية بالحامض (ABA) وهذا مهم على وجه الخصوص فى حالة تقدير كميات الحمض (ABA) بعد عمليات العزل الابتدائية والتنقية الجزئية وبعد التنقية النهائية.إلا أن هذه الطريقة لم تعد أكثر شيوعاً منذ أن حلت محلها طرق التحليل الكروماتوجرافى الغازى والسائل.

ملحوظة: تعتبر جميع الطرق الكيماوية أدق من الطرق الحيوية، ولكن من عيوب الطرق الكيماوية السابقة أنها تحتاج إلى تنقية أو حتى تنقية جزئية وفى أثناء خطوات التنقية يفقد جزء من الهورمون وبذلك يكون التقدير أقل من الواقع، ولذلك فقد تم عمل بعض المحاولات لتقليل أو تلافى الفقد وفيما يلى وصف لبعض هذه المحاولات.

يمكن إضافة المشابه 2-trans ABA إلى المستخلص النباتى وعند رصد جهاز GLC لقمة ميثيل أستر حامض الأبسيسيك Me ABA (Me ABA peak) فإنه يلى ذلك رصد الجهاز لقمة ميثيل أستر ترانس حامض الأبسيسيك Me trans ABA. peak ومن القمة الأخيرة للمركب الأخير يمكن حساب تركيز المركب الأخير وحيث أن تركيزة المضاف إلى المستخلص النباتى معروف فيمكن حساب كمية الفقد أثناء الأستخلاص. وبالمقارنة بذلك وبنفس النسبة يمكن تقدير الفقد فى الأستخلاص لهورمون ABA، ومن عيوب هذا الطريقة أن 2trans-ABA يمكن أن يوجد طبيعيا فى النبات كما أنه يمكن أن يتحول ABA الطبيعى فى النبات فى وجود الضوء إلى مخلوط بنسبة ١ : ١ من المشابه 2trans- ABA أى تكون النسبة واحد هورمون طبيعى إلى واحد 2trans-ABA ولذلك فأن أى تعريض لمحلول الهورمون للضوء يسبب إختلال النتائج وفقد صحتها ومصداقيتها.حديثاً يضاف إلى المستخلص أيثيل أستر حامض الأبسيسك ethyl esterABA بدلاً من ميثيل أستر وبذلك يستعمل كمحلول قياسى داخلى an internal standard. يتم أيضاً فصل إيثيل أستر الهورمون عن ميثيل أستر الهورمون بواسطة GLC. يمكن حساب نسبة الفقد فى الهورمون أثناء الأستخلاص وهى نفس نسبة الفقد فى إيثيل أستر الهورمون.

يمكن إستعمال طريقة ORD فى ذلك الصدد بأستعمال إختبار تخفيف المخلوط الراسيمى racemate dilution method. يتم فى هذه الطريقة أستخدام تركيز معين من racemic ABA غير نشط ضوئياً حيث يتم أضافته إلى مستخلص النبات. يتم

عمل تنقيه تامة تقريباً للمستخلص النباتى وقياس تركيز ABA الكلى فى العينة بواسطة درجة أمتصاص الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يكون ذلك بأجهزة مثل u.v.spectropolarimeter. وبعد ذلك يتم قياس ABA الطبيعى فقط وهو نشط ضوئياً بواسطة ORD.

ومن هذين القياسين يمكن حساب تركيز ABA الطبيعى فى المستخلص النباتى. لا تستعمل هذه الطريقة الآن إلا قليلاً حيث أنها تحتاج إلى كميات كبيرة من النبات لعملية الأستخلاص كما أنها تحتاج إلى عملية أستخلاص دقيقة كما أنها تحتاج إلى spectropolarimeter فائق الحساسية.

أمكن أيضاً أستخلاص ABA مشع فيه الأشعاع فى ذرة الكربون ك١٤ أو ذرة الإيدروجين H^3 حيث يوضع فى المستخلص النباتى ABA مشع بتركيز معين وبعد تمام التنقيه يتم قياس تركيز ABA المشع وبذلك يمكن حساب درجة الفقد أثناء التنقيه وتكون هى نفس درجة الفقد فى ABA الطبيعى وبذلك يمكن حساب تركيز ABA فى مستخلص النبات أى النبات.

تعتبر طريقة قياس ABA بواسطة GLC فى صورة ميثيل ABA أدق من طريقة القياس بواسطة ABA المشع.

٥ ـ طريقة Gas Ghromatography-Mass spectrometry - GC / MS

يمكن فى هذه الحالة لجهاز GLC أن يفصل ويقيس تركيز ميثيل أستر ABA فى عينات نقية جزئياً صغيرة الحجم.يستخدم MS فى وجود ABA مشع فيه الأشعاع فى ذرة الإيدروجين (ديوتيريم) وبذلك يمكن حساب تركيز ABA فى المستخلص والنبات.تضاف كمية معلومة من ABA به إيدروجين مشع إلى المستخلص ثم يتم أدخال مجموعة ميثيل methylation لكل من ABA المشع وغير المشع.يعطى مركب 3-trideuteriomethyl ABA قمة peak أكبر بدرجة ثلاث وحدات كتلة mass units بالمقارنة بقمة ABA غير المشع أى الطبيعى.تحسب النسبة بين نوعى الأيونين الأبوين ومنها يمكن حساب تركيز ABA فى العينة والنبات أى endogenous ABA.

تسمى هذه الطريقة GC/MS-SIM حيث يستخدم فيها جزء أضافى عبارة عن (SIM)selected ion monitoring.

تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق حيث أنها دقيقة وذات حساسية لدرجة كبيرة حيث أنها يمكن أن تقيس حتى تركيز ١×١٠^-١٠ جرام.

ومن أحسن الوسائل التحليلية الشائعة لدراسة حمض الأبسيسيك ABA في مستخلصات النبات هى أستعمال الطرق المشتركة بين التحليل الكروماتوجرافى الغازى وطريقة المطياف الكتلى Gas Chromatography-mass spectrometry (GC-MS). وأساس هذه الطريقة هو فصل مكونات العينة إلى ذروات كروماتوجرافية Chromatographic peaks والتى يمكن تقديرها والتحقق منها مباشرة من خلال أطيافها الكتلية mass spectra والطيف الكتلى لمركب ما mass spectrum يعتمد على أن الجزيئات أو الأجزاء المشحونة fragments (أى ذوات الشحنة) تكون من الخصائص التشخيصية لتركيب المركب.

طرق تنقية ABA.

توجد طرق عديدة لتنقية ABA ولكن أفضل هذه الطرق هى عزل الهورمون بواسطة thin layer chromatography .

وأيضاً استخدم العلماء على درجة كبيرة من الأداء التحليل الكروماتوجرافى السائل وأجهزة الكشف بواسطة الأشعة فوق البنفسجية liquid chromatography and UV detectors باستمرار وبتقدم وذلك لتنقية والتحقق من وجود حمض الأبسيسيك والهورمونات النباتية الأخرى. وهكذا فإن عدد الطرق التحليلية وأجهزتها قد تقدم بدرجة ملحوظة منذ زمن العالم فينت Went ودراساته الرائدة فى مجال الأوكسينات.

علاقة حامض الأبسيسيك بالبروتين و RNA

بعد كسر طور كمون البذور يحدث الأنبات، وفى فصل الربيع حيث يتوفر الماء ودرجة الحرارة المعتدلة والأكسجين يزداد نشاط التحول الغذائى. عند إضافة الماء إلى بذور كامنة جافة فإن تخلق البروتين يبدأ فى الجنين فى مدى ربع ساعة.يحدث أيضاً تخليق وتكوين mRNA لتكوين البروتين، ولكن فى بعض البذور مثل القطن يتم تخليق بروتين جديد قبل تخليق mRNA جديد.حيث أن هذه البذور تحتوى على mRNA مختزن أو ساكن dormant mRNA حيث يتكون هذا mRNA أثناء تكوين جنين البذور ويختزن فى الجنين أثناء فترات الجفاف أو البرودة أى فى الشتاء ولذلك ينشط بسرعة كبيرة عند نقع البذور فى الماء أى أثناء الأنبات.أى أن هذا mRNA لا يحتاج إلى تخليق لأنه مختزن ويحتاج فقط إلى تبليل البذور hydration. ثم ينشط هذا mRNA ليكون البروتين.ينتج من هذا mRNA المختزن بروتين أنزيمات protease وisocitratase فى حالة بذور القطن. وبالطبع فإن هذه الأنزيمات تساعد فى عملية الهدم وتحليل البروتينات. وجد فى حالة القطن أنه أثناء فترات تكوين الجنين وفى المراحل الأولى والوسطية من نمو الجنين أى أن درجة نمو الجنين ٦٠٪ يتم أستهلاك وأستعمال mRNA المتكون أما فى المراحل الأخيرة من نمو الجنين فإن نسبة كبيرة من mRNA المتكون يتم تخزينها على هيئة mRNA ساكن ويبقى كذلك حتى مرحلة الأنبات حيث ينشط ويكون البروتين.

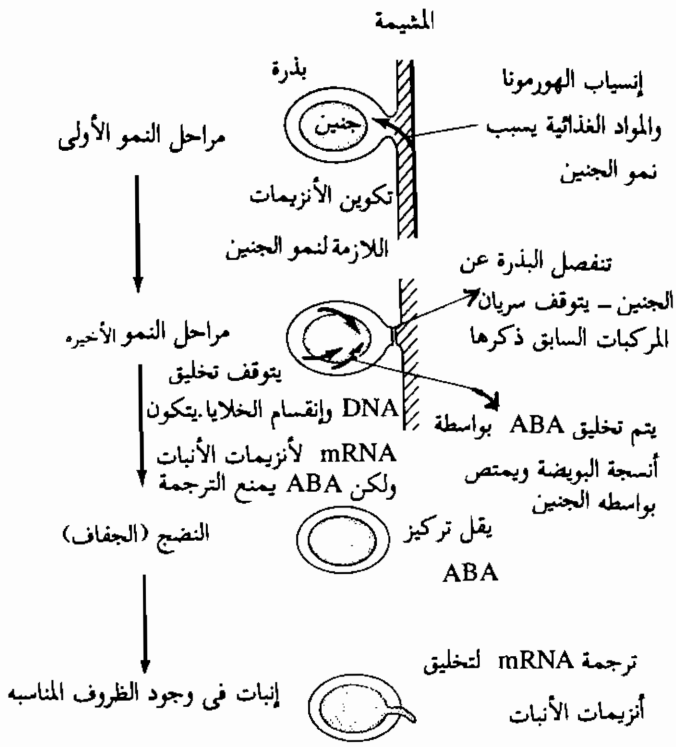
نتيجة لذلك قد يتطرق إلى الذهن سؤال هام هو كيف يحدث تغيير أثناء نمو جنين بذرة القطن فى mRNA حيث يستهلك جميعه فى المراحل الأولى من نمو الجنين وفى المراحل المتأخرة من نمو الجنين يختزن بعض منه. وماهو الذى يمنع mRNA من الإستهلاك والإستعمال المباشر ويصبح غير قابل للأختزان وغير قابل للإستعمال فى المراحل الأخيرة من نمو الجنين. أحد المداخل لتفسير ذلك هو أن الماء يغسل ويزيل عملية التثبيط فى ترجمة removes the inhibition of mRNA translation of the dormant m RNA.

ووجد أن المعاملة بـ ABA تسبب تثبيط عملية الترجمة من جديد ويصبح mRNA ساكن. تحتوى البذور الناضجة للقطن على ABA وبالتالى يسبب تثبيط عملية الترجمة على mRNA وبالتالى يثبط تكوين الأنزيمات وبالتالى يؤخر الإنبات. ومما يدعم ذلك الرأى أنه فى حالة جنين القطن لايتكون ABA إلا بعد المراحل الأولى والوسطية من نمو الجنين أى حوالى ٦٠٪ من نمو الجنين أى ٦٠٪ من حجمه النهائى. يتكون هذا المركب فى أنسجة البويضة المحتوية على الجنين ثم يتنقل من أنسجة البويضة إلى الجنين فى التوقيت السابق ذكره.

أى أن البويضة لاتكون ABA إلا بعد أن يصل الجنين الموجود بداخلها إلى ٦٠٪ من حجمه. وففى هذا التوقيت أيضاً يحدث كسر أو فصل أو عدم إتصال بين الأنسجة الوعائية التى تغذى البويضة وبين الأنسجة الوعائية المغذية للثمرة.وقبل هذا التوقيت أى قبل إنفصال الأنسجة الوعائية فإنه يوجد مركب ينساب من النبات إلى البويضة يسبب إنقسام الخلايا فى البويضة وينشط عملية نسخ mRNA من DNA ويعتقد أن هذا المركب هو السيتوكينين. بعد إنفصال الأنسجة الوعائية للبويضة عن الثمرة يتوقف إنسياب المركب الأخير ويتوقف إنقسام الخلايا كما يتوقف تخليق DNA نسبيا وينشط تكوين ABA ويتم نسخ mRNA من DNA ولكن تتوقف عملية الترجمة أى ترجمة mRNA إلى بروتينات ومنها الأنزيمات.يتوقف تخليق ABA ويقل تركيزه تدريجيا أثناء نضج بذور القطن وقد يكون ذلك نتيجة للغسيل بماء الأمطار أو بواسطة التحلل عن طريق الأنزيمات.ولذلك تصبح البذور بعد فترة خالية من ABA وبها mRNA مختزن ساكن وتشرب بذرة القطن للماء يسبب نشاط mRNA الساكن وتتم عملية الترجمة لتخليق البروتين ومنه الأنزيمات لتحدث أول خطوة فى عملية الإنبات على مستوى البيولوجيا الجزيئية molecular biology (شكل ١٧٣).

ولذلك يتضح أن ميكانيكية عمل ABA فى هذه الحالة هو تثبيط عملية تخليق البروتين وأيضا تثبيط mRNA حيث تتوقف عملية الترجمة.

عادة يزداد تركيز ABA فى الأوراق الهرمه senescing leaves. ولكن محاولات زيادة تركيز ABA فى النبات وموته قد باءت جميعها بالفشل. ولذلك فإن ABA لايسبب موت النبات. ولا زلنا ننتظر الكثير لتفسير كيفية موت النباتات الحولية أو ذات الحولين خاصة على مستوى البيولوجيا الجزيئية.



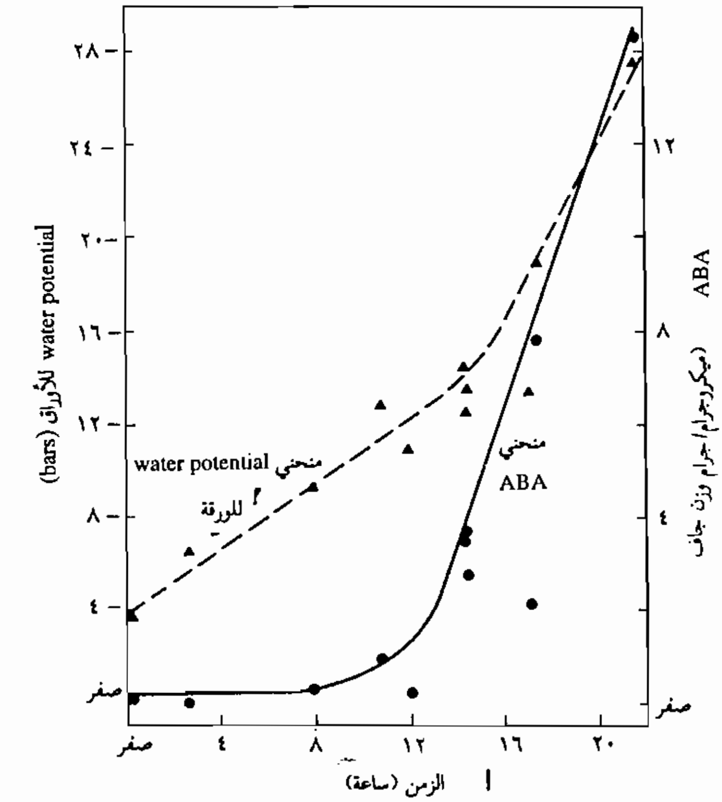
(**شكل ١٧٣**): التغيرات فى ميكانيكية تخليق الهورمونات والبروتين أثناء نمو وبلوغ ونضج وإنبات جنين بذرة القطن.

حامض الأبسيسيك وفقد الماء

يمكن وصف حامض الأبسيسيك بأنه stress hormone. يتكون هذا الهورمون نتيجة لأي ظروف غير طبيعية غير ملائمة للنبات ونتيجة لتكون هذا الهورمون فإن النبات يصبح قادر علي مقاومة أي ضغط stress نتيجة للظروف البيئية الغير طبيعية.ومن أفضل الامثلة لذلك هو الأستجابة السريعة للنبات لضغط نقص الماء water stress.

يزداد تركيز حامض الأبسيسيك بسرعة نتيجة لنقص الماء في الخلايا الحارسه. يسبب هذا الهورمون غلق الثغور بسرعة كبيرة في هذه الحالة وذلك بالمقارنة عند غلق الثغور نتيجة للنقص الكلي للماء في النبات.يحدث هذا التأثير نتيجة للتأثير علي حركة أيون البوتاسيوم من وإلي الخلايا الحارسة للنبات.حيث من المعروف أن هذا الهورمون يسبب سرعة طرد أيون البوتاسيوم من الخلايا الحارسة ونتيجة لذلك تغلق الثغور.نتيجة لغلق الثغور يقل فقد الماء من النبات وبالتالي فإنه بذلك يمكن أن يقاوم الجفاف.يمكن أن تسبب أنواع أخري من الضغوط علي النبات نفس التأثير ومثال ذلك إنخفاض درجة الحرارة حيث يسبب تخليق هذا الهورمون غلق الثغور.وفي حالة إضافة الماء للنبات فإن الثغور لا تفتح مباشرة بل تحتاج إلي وقت طويل نسبيا لكي تفتح حيث لابد أن يقل تركيز هذا الهورمون في الخلايا الحارسة. ولذلك فإن الوقت اللازم لفتح الثغور هو عبارة عن الزمن لخفض تركيز الهورمون في الثغور.نتيجة لذلك فإن أيون البوتاسيوم ينتقل إلي الخلايا الحارسة وحيث يزداد تركيزة وتمتص الخلايا الحارسة الماء وتنتفخ فتفتح الثغور ومثال ذلك نبات *Ambrosia trifeda* (شكل ١٧٤).

أما عن التأثيرات الأخري لهذا الهورمون علي النبات فهي لا تتبع نظام معين عدا بعض الحالات.ومن هذه الحالات أن صنف من الفاصوليا من أنواع معينة من الفاصوليا bush beans يزهر في النهار القصير ولكن تسقط براعمه الزهرية في النهار الطويل.يعتقد أن السبب في ذلك أن النهار الطويل يسبب تكوين تركيز عال من هذا الهورمون ينتج عنه تكوين طبقة إنفصال أسفل البرعم وبذلك يسهل سقوطه.



(شكل ١٧٤) : التغير في water potential لخلايا الورقة وفي تركيز ABA في أوراق *Ambrosia trifida* عندما يفقد النبات ماء في الجو الجاف. يلاحظ عدم زيادة تركيز ABA إلا بعد زيادة water potential إلي حد معين كبير نسبيا.

ميكانيكية عمل حامض الأبسيسيك

يعتبر غلق الثغور أحد الوظائف الرئيسية لهذا الهورمون. يعتبر تأثير هذا الهورمون على غلق الثغور تأثير سريع بينما تأثير هذا الهورمون على سكون النبات يعتبر تأثير بطيئ يحتاج إلى تغيير فى خطوات التحول الغذائى. يؤثر هذا الهورمون على عمليات عديدة ولكل منها ميكانيكية معينة ومن أمثلة ذلك أن غلق الثغور نتيجة لطرد أيون البوتاسيوم خارج الخلايا الحارسة أما عن السكون الذى يطرأ على النبات نتيجة لعمل هذا الهورمون فإنه يكون نتيجة لمنع تخليق RNA والبروتينات.

وجد أن معاملة السيقان وأغماد الريشة بهذا الهورمون تسبب نقص سريع فى سرعة نمو هذه الأجزاء وأما عن ميكانيكية تأثير الهورمون فى حدوث ذلك فإنها غير معروفة. وجد أيضا أن هذا الهورمون يزيد من شيخوخة أوراق النبات ولكن لا يؤثر على موت النبات، حيث باءت جميع المحاولات والتجارب بالفشل وحيث أتضح أنه لا يوجد علاقة بين موت النبات الكامل whole plant وهذا الهورمون.

ولذلك فإنه لازال أمامنا الكثير لكى نتعرف على كيفية وميكانيكية تحكم هذا الهورمون فى العمليات الحيوية للنبات.

مركبات شبيهة بحامض الأبسيسيك

توجد مركبات شبيهة بحامض الأبسيسيك فى بعض النباتات وكل مركب أو مجموعة من المركبات خاصة بنبات معين أو مجموعة من النباتات وفيما يلى أمثلة لذلك:

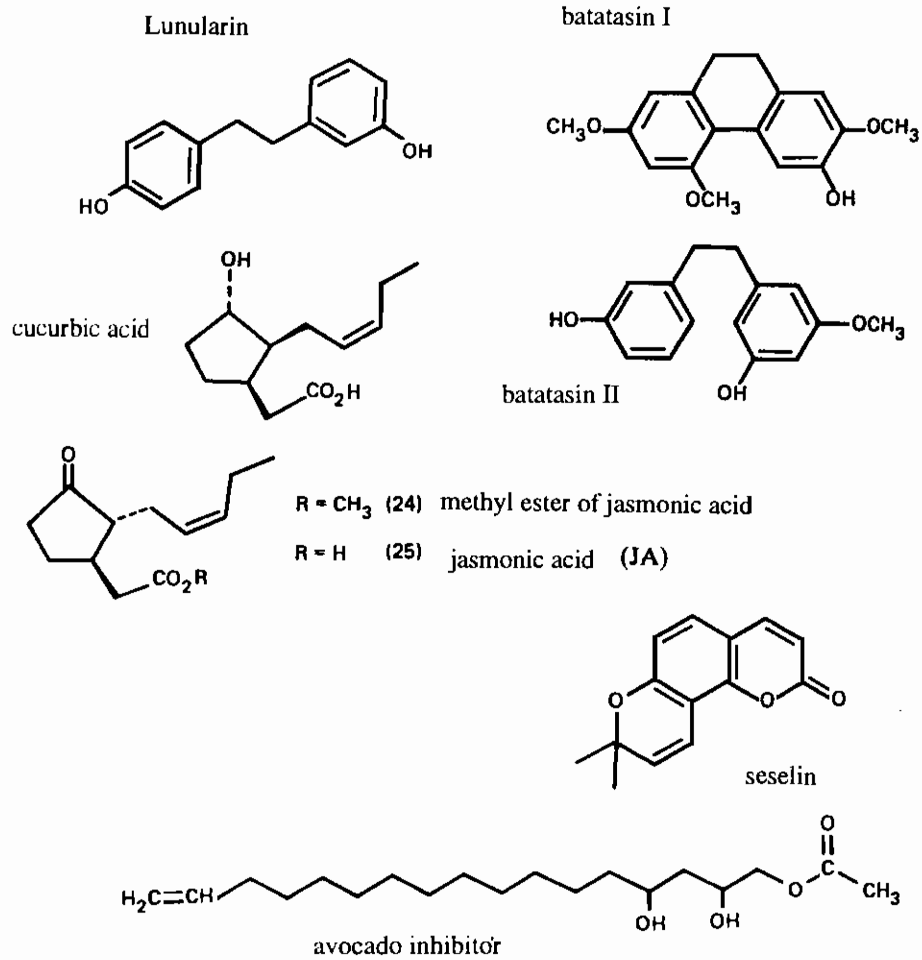
١ ـ حامض ليونيولاريك Lunularic acid :

سبق الحديث عنه (شكل ١٤٨)، يمكن نزع ك أ٢ ليتحول حامض ليونيولاريك بواسطة النبات الحزازى المنبطح *Lunularia cruciata* إلى lunularin (شكل ١٧٥).

٢ ـ مركبات Batatasins :

وهى مركبات أهمها Batatasin I و Batatasin III وقد وجد أن Batatasin I يسبب سكون البلابل bulbils فى نبات yam plant *(Dioscorea batatus)* حيث يزداد تركيزه داخل البلبل حتى يصبح أكبر ما يمكن عند تمام النضج. وقد وجد أن البلبل لا ينمو مباشرة بعد تمام النضج بل يحتاج إلى فترة ما بعد النضج afterripening (stratification) وفى أثناء هذة الفترة يقل تركيز batatasin I.

وجد أن batatasin I تركيبه hydroxy, trimethoxyphenanthrene بينما batatasin III عبارة عن تركيب مقارب bibenzyl analogue (شكل ١٧٥).



(شكل ١٧٥) : التركيب الجزيئي لبعض المثبطات الطبيعية في النباتات المختلفة.

٣ ـ حامض الجاسمونيك :Jasmonic acid

يستخلص كل من methyl ester of jasmonic acid (Me JA) وأيضا حامض الجاسمونيك (JA) من أوراق wormwood (*Artemisia absinthium*) .

وجد أن Me JA يسبب حدوث الشيخوخة فى الأختبارات الحيوية bioassay بإستعمال أجزاء من ورقة الزمير oat leaf segment. وجد أن MeJA يسبب سرعة فقد الكلوروفيل كما أنه وجد أن تأثير الكينيتين عكس تأثير المركب MeJA فى هذه

الحالة كما أنه يضاد تأثيره. أمكن عزل MeJA وحامض الجاسمونيك ومركبات مشابهة لها من زيت نبات الياسمين (شكل ١٧٥) كما أنها تنتشر فى بعض نباتات أخرى.

وجد أنMeJA أكثر نشاطا من ABA فى تحليل أى هدم الكلوروفيل حيث يكون تركيزه حوالى ٥٠ر٠ ملليجرام لكل لتر. وجد أن المركب الطبيعى من MeJA نشط ضوئيا ويكون نوع المشابه (-) بينما التركيبى synthetic MeGA يكون racemic أى خليط من + و ـ بنسبة متساوية . وجد أن درجة نشاط المركب التركيبى تتراوح بين ٠,٢ إلى ٢/١ درجة كفاءة المركب الطبيعى. يعنى ذلك أن المشابه (+) يتداخل ويقلل من كفاءة المشابه الطبيعى (-). يعتبر Me JA متطاير بدرجة منخفضة أى أنه قليل التطاير.

وجد أن JA أى حامض الجاسمونك يثبط إستطالة غمد الورقة الثانية لنبات الأرز وبنفس الدرجة التى يحدثها ABA. وجد أيضا أن JA يثبط إنبات حبة لقاح نبات الكاميليا. يعتبر JA قريب فى تركيبه من حامض القرعيك cucurbic acid (شكل ١٧٥). وأيضا جلوكوسيد حامض القرعيك 5-0-glucoside cucurbic acid وأيضا أستر ميثيل جلوكوسيد حامض القرعيك 5-0-glucoside methyl ester. أمكن عزل حامض القرعيك من pumpkin *(Cucurbita pepo)* . وجد أيضا أن المركب الأخير هو الأكثر كفاءة فى تثبيط إستطالة غمد الورقة الثانية فى الأرز.

حتى ألآن يحتاج الأمر إلى تجارب كثيرة ليوضح هل المركبات السابقة هورمونات نباتية phytohormones أو أنها سموم.حيث أن تركيز MeJA المحلل للكلوروفيل وهو حوالى ٠,٥٠ ملليجرام لكل لتر يعتبر تركيز قليل وفى حدود تركيزات الهورمون. أما فى حالة JA فإنه يستخلص بتركيز ٤,٤ ملليجرام من كل ٩,٨ كجم من النبات أى حوالى٠,٥ ملليجرام لكل كيلو جرام. يعتبر هذا التركيز أعلى من تركيز الهورمون.

٤ - مثبط الأفوكادو Avocado inhibitor :

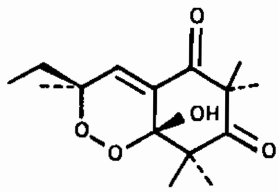
وجد مركب مثبط فى ثمار الأفوكادو يسبب تثبيط إستطالة غمد الريشة للقمح وتثبيط نمو كالس فول الصويا. وجد أن تركيزه يزداد فى الجنين والجدار الثمرى الأوسط mesocarp أثناء إنخفاض درجة نمو الثمار.لم يوجد هذا المثبط فى أى نوع آخر من الثمار (شكل١٧٥).

٥ - مثبطات الكافور *Eucalyptus* inhibtiors :

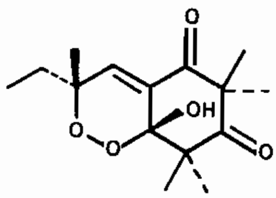
وجد أن مستخلصات أوراق وقلف الكافور *Eucalyptus grandis* تحتوى على مجموعة متشابهة من المركبات والتى تثبط نمو الكافور وعلى وجة الخصوص تمنع عملية التجذير فى العقل (تسمى هذه المركبات المثبطات G أى Ginhibitors) فى النوعين *E.grandis* و *E.glupta* وأيضا الفاصوليا *(Phaseolus* mung beans *mungo)* حيث وجد أن العقل من الأنسجة الغير ناضجة juvenile tissues لنوع الكافور *E.grandis* تكون جذور بسهولة وبسرعة بينما العقل الناضجة لنفس النبات لا تكون جذور حيث أن الأخيرة تحتوى على تركيز عال من هذه المركبات المثبطة.وجد أن الأوراق الصغيرة السن لهذا النوع من الكافور تتأثر بسرعة بظروف الجفاف ويظهر عليها الذبول بينما لا تتأثر الأوراق البالغة وقد علل ذلك أن تركيز المثبطات G في الأوراق البالغة يكون مرتفع وبذلك تقاوم الجفاف والذبول والعكس صحيح فى الأوراق الصغيرة السن. ومما يدعم ذلك أيضا أنه لم يمكن العثور على أى آثار من ABA فى هذه الأوراق ومع ذلك لا يفضل القول أن هذه المثبطات تحل محل ABA فى هذه الحالات.

تتكون المثبطات من ثلاثة مركبات وهى G1 وG2 وG3 إثنان منهما متشابهان epimers at one position والثالث ينقصه مجموعة ميثيلين فى نفس المكان (شكل ١٧٦). تعتبر وظيفة هذه المثبطات غامضة وغير معروفة حتى الآن. وهى غير قابلة للإنتقال وتتأثر تركيزاتها بدرجة بسيطة نتيجة للتغير فى الظروف البيئية. وجد أن مخلوط من هذه الثلاثة مركبات له تأثير بسيط.

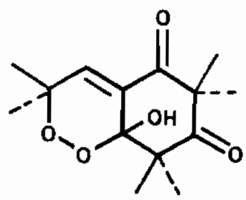
Eucalyptus inhibitors



G1



G2



G3

(**شكل ١٧٦**) : التركيب الجزيئى لمركبات المثبطات G أى Ginhibitors فى الكافور.

غاز الأيثيلين

ETHYLENE

مقدمة تاريخية :

من الجدير بالذكر أن هذا الغاز يعتبر أقدم منظم للنمو عرف حتى الآن. وتأثير هذا الغاز على النبات عرف منذ زمن قديم كما سيلى شرحه ولكن للتحقق من أهميته كمنظم للنمو عرفت حديثا نسبيا عام ١٩٦٢ . وبداية التعرف على أهمية الايثيلين ما لاحظة العالم الألمانى Girardin سنة ١٨٦٤ فى برلين حيث أن تسرب غاز الإضاءة illuminating gas وهو يحتوى على كمية قليلة من الايثيلين يسبب ضرر للأشجار المزروعة على جانبى الطريق. وبعد ذلك وضح عالم النبات الروسى Neljubow أن غاز الأيثيلين يؤثر على إنتحاء الجذور ويغير من أتجاهها فى البسلة.كما وضح أن أهم مكون فى غاز الإستصباح ينظم نمو النبات هو الايثيلين وله تأثير على إنبات البادرات مثل بادرات البسلة حيث وجد أن تعريض هذه البادارت للايثيلين يسبب قصر فى نمو الساق أى السويقة الجنينية العليا وأيضا غلظ فى الساق أى السويقة الجنينية العليا وأن الساق تنمو أفقيا بدلا من نموها رأسيا وقد سمى هذه الحالة بالأستجابة الثلاثية triple response of ethylene للأثيلين.

ويعتبر Knight وآخرون سنة ١٩١٠ أول من أثبتوا حدوث ظاهرة epinasty فى النبات. فى سنة ١٩١٠ أيضا أوضح Cousins أن ثمار البرتقال تنتج غاز يساعد على سرعة نضج ثمار الموز المخزنه معه ولم يتمكن فى ذلك الوقت من معرفة الغاز

المسبب ولكن اتضح فيما بعد أن الغاز المسبب هو الايثيلين. ويعتبر Denny سنة ١٩٢٤ أول من أوضح أن غاز الايثيلين يسبب سرعة نضج ثمار الليمون بعد جمعها حيث أن ثمار الليمون فى ذلك الوقت تجمع خضراء وتترك فترة فى التخزين فعند تعريضها لغاز الايثيلين فى هذا الوقت فإنه يسبب سرعة نضج الثمار. وفى سنة ١٩٢٥ أثبتت Rosa أن الأثيلين يسبب كسر طور السكون للبراعم على درنات البطاطس. وفى سنة ١٩٣١ تمكن Zimmerman من اثبات أن الايثيلين يسبب سقوط الأوراق.وفى سنة ١٩٣٢ تمكن Rodriguez من إثبات أن غاز الايثيلين يساعد على الأزهار فى نبات الأناناس. أثبت Gane عام ١٩٣٥ أن غاز الايثيلين ينتج طبيعيا أثناء نضج ثمار التفاح أثناء التخزين وقد يكون له دور فى تنشيط نضج الثمار. أثبت Denny and Miller عام ١٩٣٥ أن أجزاء أخرى فى النبات تنتج الأيثلين بالإضافة إلى الثمار الناضجة وهذه الأجزاء هى الأزهار والبذور والأوراق والجذور.وفى عام ١٩٣٥ أقترح Crocker ومساعدوه أن غاز الإيثلين هورمون نباتى لأنه يوجد فى النبات بتركيزات تسمح بأن ينظم العمليات الفسيولوجية. إلا أن كل من Went & Thimann عارضا ذلك بشدة، حيث أنه فى هذه الفترة كانت الأوكسينات تعتبر الهورمون الأساسى المنظم لنمو النبات وأن تأثير الأثيلين هو نتيجة للأختلاف فى تركيز الأوكسين. أثبت Michener عام ١٩٣٨ أن معاملة بعض أجزاء أو أنسجة النبات بالأيثيلين تسبب خفض تركيز الأوكسين وفى معاملات أخرى أتضح وجود تعاون بين الإوكسين والأثيلين فى حدوث الانتفاخ swelling وعملية التجذير rooting. لا حظ كل من Zimmerman و Wilcoxon عام ١٩٣٥ أن المعاملة بالأوكسين تنشط أحيانا تكوين الأيثيلين.

منذ هذه الفترة وحتى عام ١٩٦٠ أعتبر الأيثيلين مركب يمكن أن يعامل به النبات exogenous chemical ويسبب تغييرات واضحة فى النبات وبعض هذه التغيرات يكون مرغوب ولكن بالنسبة لفسيولوجيا الفاكهة فإنه يعتبر مركب هام فى نضج ثمار الفاكهة important self regulator of ripening وحتى هذه الفترة لم يعتبر الأثيلين منظم للنمو.

لم يمكن إثبات أن الإيثلين هورمون نباتى إلا خلال الستينات حيث أنه فى فترة الأربعينات والخمسينات كانت الأبحاث تجرى بنشاط كبير على الأوكسينات والجبريللينات والسيتوكينينات وعامة لم يتقدم البحث بطريقة فعالة على غاز الإيثيلين كمنظم للنمو إلا بعد إختراع جهاز gas chromatography وأيضاً بعد إجراء التحسينات الكبيرة عليه لكى يتمكن من قياس تركيزات قليلة من هذا الغاز حيث أن هذا الغاز يوجد فى النبات بتركيزات قليلة جداً يصعب قياسها أو يستحيل بأى من الطرق القديمة ولكن أمكن قياسها باستعمال جهاز gas chromatography الحديث المعدل. ولذلك فإن تقدم البحوث منذ الستينات على غاز الإيثيلين راجع إلى إستخدام هذا الجـــهاز . يوجد نوع أكثر تطور gas liquid chromatography يمكن بواسطته قياس تركيز الغاز حتى ثلاثة أجزاء فى البليون.

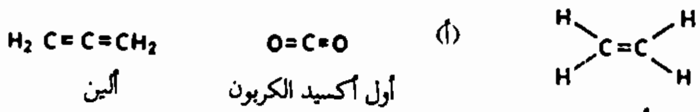
أثبت Thimann و Burg عام ١٩٦٠ أن الايثيلين يوجد طبيعياً فى أجزاء النبات المختلفة مثل الجذور والسيقان والأزهار والثمار . وفى الفترة من عام ١٩٦٠ حتى ١٩٦٩ أمكن إثبات وجود الإيثيلين فى كثير من النباتات وأصبح الإيثيلين أحد منظمات النمو فى النبات أى أحد هورمونات النبات وقد أعترف به عام ١٩٦٩ كهورمون نباتى.

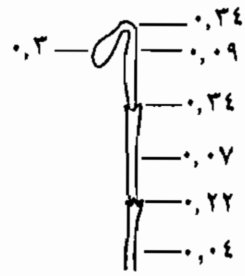
خواص الإيثيلين:

الإيثيلين عبارة عن غاز خفيف نسبياً وزنه الجزيئى ٢٨ ومن الإيدروكربونات الغير مشبعة صغير الحجم ، وهو عديم اللون ذو رائحة معينة تشبه رائحة الإيثير وهو سهل الاشتعال ويساعد على الاشتعال ويشتعل بفرقعة ودرجة غليانه -١٠٣ درجة مئوية ويكون فى الحالة السائلة عند-١٦٩ درجة مئوية (شكل ١٧٧).

أنواع مركبات الأثيلين:

يعتبر الإثيلين الحر هورمون نباتى أى أنه منظم نمو طبيعى natural. ولكن توجد مركبات أخرى يتم تخليقها صناعياً وتعتبر تركيبية حيث أنها لاتتكون طبيعيا فى النبات مثل ethylene chlorhydrin. يستعمل المركب الأخير فى كسر سكون براعم درنات البطاطس.





(شكل ١٧٧) : أ - التركيب الجزيئي للأثيلين وبعض المركبات الأخري المشابهة.
ب - إنتاج الأيثيلين من الأجزاء المختلفة لبادرة البسلة عمرها ٧ أيام وشاحبة ضوئياً (نانولتر/جم/ساعة).

طريقة تخليق الأثيلين :

يعتبر الأثيلين من الهيدروكربونات ومن الثابت أن هذا الغاز يتكون من الحامض الأمينى ميثيونين وحيث توجد دلائل توضح أهمية الميثيونين كمركب أصل precursor يتكون منه الأثيلين . عندتغذية أنسجة التفاح بالميثيونين يتكون الأثيلين بكثرة. عند معاملة الأنسجة النباتية بأحد مضادات الأثيلين وهو مركب ethionine فإن تكوين الأثيلين يقل أو يتوقف. عند إستعمال ميثيونين به كربون مشع ومعاملة ثمار التفاح بهذا المركب فإن الأثيلين الناتج يكون مشع عندما تكون ذرتى الكربون رقم ٣ و ٤ فى جزيئ الميثيونين مشعة. وعندما يكون الإشعاع فى ذرات كربون أخرى فإن الأثيلين الناتج يكون غير مشع. يتضح من ذلك أن ذرتى الكربون ٣ و ٤ يتكون منهما الأثيلين. يتضح من التجارب أيضاً أنه لابد أن يكون L-methionine وأن D-methionine المشابه الآخر غير فعال فى ذلك. يتضح أيضا أن المرافق الأنزيمى FMN هام وضرورى لتخليق الأثيلين من الميثيونين. كما أن مركب ميثيل سلفيد يكون فى صورة غازية ويبقى فى داخل الأنسجة ولاينتشر إلى الخارج وذلك دليل

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/
/Biothesis

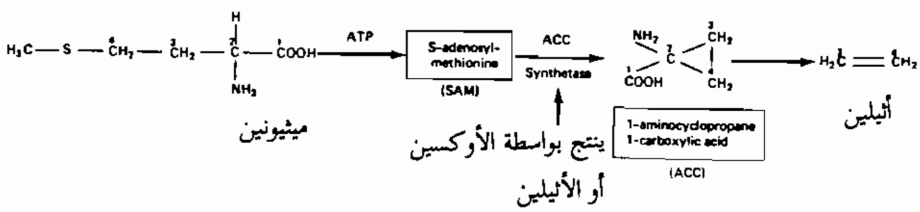
https://www.researchgate.net/profile/
/Salam_Ewaid

07807137614



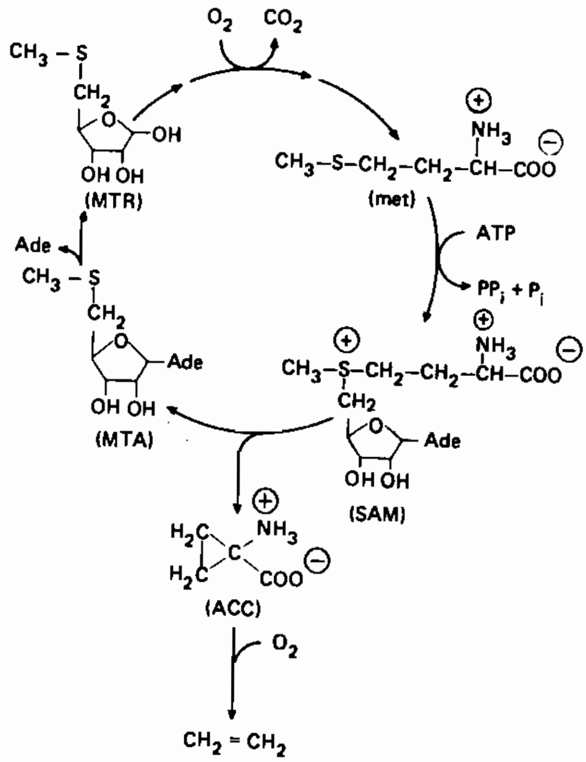
على أن هذا المركب أو مركب شبيه يحتوى على ذرة الكبريت يتم إستعماله مرة أخرى فى داخل أنسجة النبات ليدخل فى دوره مرة أخرى recycled لتخليق الميثيونين. وهكذا تتكرر الدورة مرات عديدة. أى أن المركب الناتج من تخليق الأثيلين من الميثيونين والمحتوى على ذرة كبريت يكون فى صورة غازية ويدخل فى دورة أخرى لتخليق الميثيونين.

يمكن تلخيص طريقة تخليق الأثيلين (شكل ١٧٨) حيث أن الميثيونين يتحول فى وجود ATP إلى مركب S-adenosyl methionine (SAM) ويتحول المركب الأخير فى وجود أنزيم ACC synthetase إلى مركب (ACC) 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid ومن الأخير يتكون الأثيلين والذى يتكون من ذرتى الكربون فى الميثيونين رقم ٣ و ٤.



(شكل ١٧٨): خطوات تخليق الأثيلين من الميثيونين.
تدل الأرقام على مصير ذرات الكربون الموجودة في الميثيونين.

يمكن شرح طريقة تخليق الأثيلين بالتفصيل (شكل ١٧٩) حيث أنه من التجارب وجد أن مجموعة CH_3S فى الميثيونين تتحرر من المركب S-adenosylmethionine (سام SAM) فى صورة methylthioadenosine (MTA) ثــم تتحلل مائياً بسرعة إلى methylthioribose (MTR) ثم تدخل مجموعة CH_3S مرة أخرى فى الدورة recycled back ليتكون الميثيونين. وجد حديثاً نسبياً عام ١٩٨٢ أن الريبوز والمرتبط معه ribose moiety فى المركب CH_3S MTR يتحد مباشرة ليكون مركب 2-aminobutyrate moiety والذى يتحد مع مجموعة CH_3S ليتكون الميثيونين. ومن هذه الدورة يتضح أن مجموعة CH_3S يحتفظ بها أثناء الدورة لتكون الميثيونين مرة أخرى.



(**شكل ١٧٩**) : تخليق الأثيلين من الميثونين في أنسجة التفاح.

وجد أن إنتاج الأثيلين داخل أنسجة النبات يتوقف فى الظروف اللاهوائية وباستعمال ثمار التفاح أمكن إثبات أن MTR يتحول إلى مركب

1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) وأن الأخير لايتحول إلى الأثيلين إلا فى وجود الهواء أى الأوكسجين. ولذلك فإن الخطوة الأخيرة فى أنتاج الأثيلين وهى تحول ACC إلى أثيلين لا تحدث فى ظروف لاهوائية ولابد من وجود ظروف هوائية. ولذلك يعتبر ACC هو المركب الأصلى precursor الذى يتكون منه الأثيلين. وجد فى مستخلص الطماطم أنزيم يسمى ACC synthetase والذى يحول SAM إلى ACC. وجد أن هذا الأنزيم يحتاج إلى مرافق أنزيمى pyridoxal phosphate ولذلك فإن المركب الأخير ضرورى لوصول الأنزيم قمة نشاطه كما وجد أيضاً أنه يمكن تثبيط الأنزيم بمثبطات متخصصة فى تثبيط الأنزيمات ذات

المرافق الأنزيمى pyridoxal phosphate مثل aminooxyacetic glycine (AOA) ومركب aminoethoxyvinyl glycine (AVG).

عند إضافة ACC إلى أعضاء مختلفة لنباتات مختلفة مثل الجذور والسيقان والأوراق والنورات والثمار فإنه تحدث زيادة ملحوظة فى تخليق الأثيلين. يثبت ذلك أن الأنزيم اللازم لتحويل (ACC) إلى أثيلين موجود فى غالبية الأنسجة النباتية.

يمكن أن تحدث عملية إرتباط conjugation لمركب ACC حيث يتحول إلى N-malonyl -ACC بواسطة أنزيم موجود فى الأنسجة النباتية وحيث أن هذا الإرتباط غير عكسى فإن هذا المركب المرتبط يعتبر مركب نهائى end-product ولايعتبر مركب لتخزين ACC (storage form of ACC). ولذلك يعتبر تكوين هذا المركب عامل هام فى تنظيم إنتاج الأثيلين داخل الأنسجة النباتية.

an important mechanism for regulation of ethylene biosynthesis.

أماكن وجود الأثيلين في النبات:

ينتج الأثيلين بكثرة فى مناطق العقد nodes والأنسجة المرستيمية . أمكن إثبات ذلك فى بادرات البسلة الشاحبة etiolated (شكل ١٧٧). يكون عالى التركيز فى البراعم الساكنة لنبات التفاح ويقل التركيز عند نمو البرعم كما يكون التركيز عال أيضاً فى الأوراق والأزهار البادئة فى مرحلة الشيخوخة . ينتج الأثيلين بتركيزات عالية عند مرحلة البلوغ maturity ومرحلة النضج ripening فى الثمار.

لاتوجد علاقة ثابتة بين سرعة تخليق الأثيلين وتركيزه داخل النبات . تنتج كلا من ثمار الموز والتفاح الأثيلين بتركيزات عالية أثناء مرحلة النضج أثناء التخزين ولكن بالرغم من ذلك نجد تركيز الأثيلين فى ثمار التفاح هو ٢٥٠٠ جزء فى المليون بينما لايزيد التركيز فى ثمار الموز عن ٠١, جزء فى المليون (جدول ١١) .

يعتبر كيوكيل الثمار مانع رئيسى لخروج الأثيلين من الثمار ولذلك فإن تركيز الأثيلين فى الثمار أعلى مـن تركيزه فـى الجو الخارجى. وجـد أن نباتات الطماطم

و *Coleus* تنتج كميات أكبر من الأثيلين عند وضعها أفقياً عنه عند وضعا رأسياً وقد يكون للجاذبية الأرضية دور فى ذلك. كما أن نبات الأناناس الأفقى يزهر أسرع من الرأسى لنفس السبب.

المركبات الشبيهة بالأثيلين:

توجد بعض الغازات الغير مشبعة أى ذات الروابط المزدوجة وتكون قريبة نسبياً فى تركيبها للأثيلين مثل أستيلين acetylene وبروبيلين propylene وأول أوكسيد الكربون وألين allene يكون لها نشاط فسيولوجى مشابه للأثيلين، ولكن يعتبر الأثيلين هو أكثر هذه المركبات نشاطاً فسيولوجياً يليه بروبيلين ثم أستلين.عامة كلما صغر حجم الجزيئ كلما زاد نشاطه. وكلما زاد طول السلسلة كلما قل النشاط ولذلك فإن نشاط ميثيل أستيلين أقل من نشاط الأستيلين.

وجود رابطة مزدوجة بين ذرتين الكربون ضرورى للنشاط ولذلك فإن المركبات الشبيهة بالأثيلين وبين ذرتى الكربون رابطة مفردة فأنها مركبات عديمة النشاط .زيادة عدد الروابط بين ذرتى الكربون عن رابطتين يقلل من نشاط المركب ولذلك فإن الأسيتلين أقل نشاط من الأيثيلين (شكل ١٨٠).

$CH \equiv CH$	$H_2C=C=CH_2$	$O=C=O$
أستيلين	II allene	III carbon dioxide

(شكل ١٨٠) : المركبات القريبة في تركيبها للأيثيلين.

ثابت التحويل conversion constant :

هى النسبة بين تركيز الايثيلين فى داخل النبات (ميكروجرام لكل لتر) إلى سرعة تخليق الايثيلين (نانولتر /جرام / ساعة) .يمكن حساب تركيز الايثيلين داخل البنات عند معرفة سرعة إنتاج الأيثيلين وثابت التحويل (جدول ١١).

(جدول ١١) : سرعة تخليق الأيثيلين في أجزاء مختلفة لنباتات مختلفة

العضو والنبات	سرعة تخليق وإنتاج الأيثيلين (nl/g/h) (نانولتر / جرام / ساعة)	ثابت التحويل (ميكرولتر/ نانولتر/ حجم/ ساعة)·
climacteric fruits		
أفوكادو	٠,٠٢ ـ ١٣٠	٠,٧
موز	٠,٠٢ ـ ٢٠	١,٩
cherimoya	١٠, ـ ٣٢٠	٠,٤ ـ ١,٣
مانجو	٠,٠١ ـ ١	٣,٨
كانتلوب	٠,٠٢ ـ ٨٠	٢,٥
طماطم	٠,٠٢ ـ ٢٠	٢,٠
non climacteric fruits		
الليمون	٠,٠٢ ـ ٠,١	١,٨
البرتقال	٠,٠٢ ـ ٠,١	٤
أوراق التبغ	٥٠, ـ ٢	٠,١
ساق الفاصوليا	٢	٠,٤
أزهار القرنفل	٠,٠٥ ـ ٣٠	
فطريات (مزرعة نقية)		
Penicillium digitatum	٦٠٠٠	
Fusarium oxysporum f.s.p. tulipae	٣٨٠٠	

مضاد الأيثيلين Ethylene Antagonist :

يقلل وجود ثانى أكسيد الكربون من نشاط وفاعلية الأيثيلين ومن أفضل الأمثلة لذلك هو أن تخزين الثمار فى جو ثانى أكسيد الكربون بنسبة مرتفعة نسبياً يسبب حفظها طازجة أطول مدة ممكنة وعند إزالة ثانى أكسيد الكربون من الجو بأمتصاصه

فى محلول إيدروكسيد بوتاسيوم فإنه يحدث نضج سريع للثمار نتيجة لزيادة نشاط الأيثيلين، ولذلك يمكن أن يعتبر غاز ثانى أوكسيد الكربون مضاد للأيثيلين، وفى حالة النباتات لعمل تأثير عكسى للأيثيلين نحتاج إلى تركيز كبير من ثانى أوكسيد الكربون ومثال ذلك البسلة حيث تحتاج إلى مائة ألف جزء فى المليون ثانى أوكسيد الكربون لكى يضاد تأثير واحد جزء فى المليون من الأيثيلين المؤثر على نمو ساق البسلة أى يحتاج تركيز ١٠ ٪ ثانى أوكسيد الكربون.

مصادر الايثيلين:

للاثيلين مصادر عديدة جداً وكثيرة وهى على سبيل المثال وليست الحصر ما يأتى:

١ ـ النباتات: فمن المعروف أن الغالبية العظمى من النباتات تنتج أثناء قيامها بتفاعلاتها الكيموحيوية غاز الايثيلين.

٢ ـ جروح النباتات واحكاك النباتات بالأجزاء الصلبة وعند قطع أجزاء النبات ينتج عنه فى العادة غاز الإيثيلين. كما أن أضرار التلوث على النبات وأضرار مبيدات الحشائش يمكن أن ينتج عنها غاز الايثيلين. جروح النباتات نتيجة للحشرات أو نتيجة الأضرار الميكانيكية ينتج عنها غاز الايثيلين.

٣ ـ عند أنبات البذور ففى كثير من الحالات ينتج غاز الايثيلين.

٤ ـ عند جمع النباتات وحرقها فأن ناتج الأحتراق وفى الادخنة المتصاعدة تحتوى على نسبة من هذا الغاز تختلف باختلاف النباتات المحترقة والظروف البيئية التى تجرى فيها عملية الاحتراق.

٥ ـ من المهم معرفة أن الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى التربة مثل البكتريا والفطر يمكن أن تنتج غاز الايثيلين، ومما هو جدير بالذكر أن بعض البكتيريا فى الظروف اللاهوائية تنتج كميات كبيرة من غاز الايثيلين عنه فى الظروف الهوائية

ومن ذلك يتضح أن التربة ممكن أيضاً أن تكون مصدر لغاز الايثيلين.ينتج عن أصابة النبات بالفطر أو البكتريا أو الفيرس فى بعض الحالات زيادة فى تركيز الأيثيلين.

ومن ما هو جدير بالذكر أن بكتريا العقد الجذرية ومنها جنس *Rhizobium* تقوم بتحويل غاز الاستيلين إلى غاز الايثيلين بكفاءة عالية جداً ولذلك فأن الطرق الحديثه الحالية لتقدير سرعة نمو وتعداد وكفاءة هذه البكتريا فى العقد الجذرية يمكن أن تقاس بهذا التفاعل حيث أنه كلما زادت كفاءة البكتيريا فى تحويل غاز الاسيتيلين إلى غاز الايثيلين كلما كان ذلك دليل على زيادة تركيز ونمو بكتيريا العقد الجذرية وحيث يزداد peak الأيثيلين على chart الخاصة بالجهاز، وكانت الطرق القديمة لتقدير النمو كانت تعتمد على تقدير الوزن الجاف الا أن هـــذه الطريقة الحديثة أثبتت أنها أكثر كفاءة وأكثر دقة من الطرق السابقة وتجرى عملية القياس للغاز فى هذه الطريقة باستعمال جهاز Gas chromatography .

تنتج الفطريات *Penicillium digitatum* و *Fusarium oxysporum* و *Aspergillus* flavus و *A.clavatus* و *Mucor hiemalis* الأثيلين. وقد وجد المؤلف أن ثمار التفاح المصابة بفطر *Botryodiplodia theobromae* تنتج كمية من الأيثيلين أكبر من الثمارالسليمة. وجد أيضاً أن البكتريا *Escherichia coli* تنتج الأثيلين.

٦ ـ يوجد غاز الايثيلين فى عادم السيارات وأيضاً غاز الاستصباح والغازات الناتجة من المصانع ومن المعامل كل هذه الغازات تحتوى على نسبة من غاز الايثيلين.

٧ ـ تعتبر بعض الظروف البيئية غير الملائمة عامل فى تنشيط تكوين الأثيلين فى النبات. ومن الضرورى أن تسبب هذه العوامل ضغط على النبات stress ويصبح النبات بأكمله أو جزء منه فى ظروف غير طبيعية. ومن أمثلة هذه الحالات تعريض النبات للجفاف أو الأصابة بالأمراض أو أضرار الحشرات أو الجروح. وجد أيضاً أن هز النبات بشدة يسبب تخليق الأثيلين بتركيز عال نسبيا.

٨ ـ ينتج من مزارع الأنسجة أثيلين عادة وقد يسبب ذلك تثبيط للنمو حيث أن الحيز مغلق ولايسمح بخروج الأثيلين إلى الجو الخارجى. ومثال ذلك أن الأثيلين

المتكون فى حيز مغلق نتيجة لزراعة القمة النامية لساق القرنفل يسبب بطء فى النمو وأنتفاخ الأوراق وجد أيضاً أن ذلك يسبب تثبيط لتكوين أو نمو درنات البطاطس وأيضاً تثبيط فى أتساع ونمو أوراق البطاطس وذلك فى حالة مزارع القبة النامية للساق. يؤثر الأثيلين فى مزارع الأنسجة على نمو مزارع الكالس ومزارع أجزاء من الأوراق leaf segments لنبات الداليا ويتوقف تركيز الأثيلين الناتج من هذه المزارع فى هذه الحالة على تركيز الأوكسين والسيتوكينين فى البيئة.

سرعة تخليق الايثيلين:

يخلق غاز الأيثيلين فى الثمار الناضجة والأزهار فى بداية الذبول والبراعم الساكنة كما قد يوجد فى الجذور والسيقان وسرعة تكوين وتخليق الغاز فى المعتاد تترواح من ٠,٥ـ ٥,٠ نانولتر لكل جرام /ساعة. ولكن فى بعض الثمار تصل النسبة إلى ١٠٠ نانولتر/جم/ساعة وأكبر كمية ايثيلين من حيث سرعة التخليق حتى الآن تنتج من الازهار أثناء ذبولها فى أوركيد نبات *Vanda* حيث تصل ٣٤٠٠ نانولتر/جم/ساعة (النانولتر= $١٠^{-٩}$ لتر). وفيما يلى جدول يوضح سرعة تخليق الايثيلين فى أجزاء مختلفة لنباتات مختلفة (جدول ١١).

الظروف البيئية التى تؤثر فى تكوين الايثيلين:

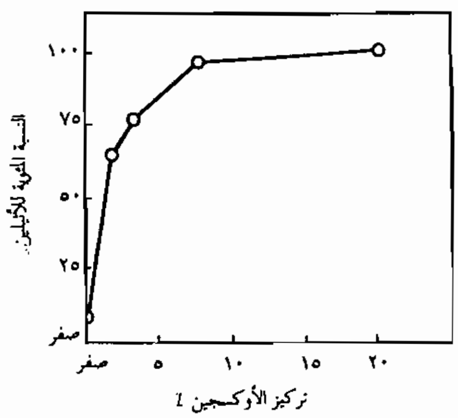
١ ـ درجة الحرارة العالية والمنخفضة تقلل من انتاج الايثيلين (شكل ١٨١).



(شكل ١٨١): تأثير درجة الحرارة علي إنتاج الأثيلين في ثمار التفاح.

٢ ـ وجود الاوكسيجين مهم، وفى تركيز أقل من ٢ ٪ يتوقف انتاج الايثيلين أو يقل بدرجة ملحوظة.

ويزداد تركيز الأثيلين بزيادة تركيز الأوكسجين حتى حد معين (شكل ١٨٢). ولذلك فإنه عند التخزين تستعمل درجة حرارة منخفضة وتركيز قليل من الاوكسجين فأن ذلك يقلل من كفاءة الثمار على تكوين الاثيلين وبذلك يطول عمر تخزينها حيث أنه من المعروف وكما سيلى ذكره أن غاز الاثيلين يساعد على نضج الثمار بسرعة.



(شكل ١٨٢): تأثير تركيز الأوكسجين علي إنتاج الأثيلين في ثمار التفاح.

٣ ـ الجروح وقطع الانسجة وآماكن الاحتكاك تزيد من كفاءة تكوين الايثيلين.

٤ ـ وجد فى تخزين ثمار التفاح أن وجود ك أ٢ بتركيز مناسب عالى نسبياً يضاد تأثير الايثيلين وبذلك يساعد على طول مدة وفترة التخزين.

٥ ـ للضوء تأثير هام على إنتاج الايثيلين عند انبات البذور ذوات الفلقتين فعند انبات البذرة يكون الجزء تحت القمى من السويقة الجنينية العليا أو السفلى منحنى hooked ويحدث ذلك لأن هذه القمة تنتج اثيلين بتركيز كبير وعند تعريض البادرة للضوء العادى أو الضوء الاحمر فأن الانحناء يستقيم . وجد أن تركيز الايثيلين الناتج

يقل بدرجة كبيرة جداً أثناء الأستقامة وقد وجد أنه يمكن انتاج كمية كبيرة مرة أخرى من الأيثيلين عند تعريض البادرة للـ far red ويحدث أيضاً انحناء مرة أخرى ولذلك فأن هذه الحالة من حيث تأثير الضوء وانتاج الايثيلين و استقامة أو انحناء القمة للبادرة يتحكم فيها صبغة الفيتوكروم لأنها تتأثر بالضوء الأحمر و الضوء الأحمر البعيدfar red بطريقة عكسية . كيفية تحكم الفيتوكروم فى الأيثيلين غير معروفة.

أنتقال الايثيلين:

نظراً لأن الايثيلين عبارة عن هورمون فى حالة غازية وهو الهورمون الوحيد الموجود فى الحالة الغازية وهو ذو وزن جزيئى صغير وحجم صغير فأنه ينتقل فى داخل النبات بسهولة وحرية ومما يزيد سرعة انتقاله وتخلله لانسجة النبات أنه قابل للذوبان فى الماء وعلاوة على ذلك فأنه قابل للذوبان بدرجة أكبر فى الدهون وقد وجد أن حركة الايثيلين فى النبات تماثل حركة ك أ٢ فى النبات تماماً وأن كل منهما يتبع فى انتشاره فى النبات قانون Fick للأنتشار Fick's Law of Diffusion . وحيث يستعمل فى حالة مرور الغاز خلال غشاء المعادلة الآتية :

$$Js = K_S \Delta C_S$$

حيث أن

Js= كمية الغاز التى تتخلل وحدة المساحة فى وحدة الزمن ($mol/m^2/s$)

Ks= معاملة النفاذية(m/s)

ΔCs= الفرق فى التركيز بين المنطقتين (mol/m^3)

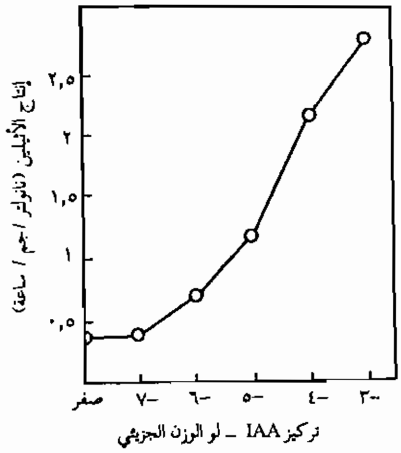
حركة الايثيلين فى داخل أنسجة النبات تكون عن طريق المسافات البينية ولكن لقدرته الكبيرة على الذوبان فى الماء فأنه ينتقل بواسطة الماء المنتشر ولقدرته العالية جداً فى الذوبان فى الدهون فيمكن أيضاً أن يتخلل الخلايا ويخترقها بسهولة لأنه يخترق الغشاء البلآزمى للخلية بسهولة لأنه قابل للذوبان فى الدهن.

ومن المعروف أن الغشاء البلازمى يتكون أساساً من دهون فوسفورية وبروتين وإنه كلما زادت كفاءة المركب فى الذوبان فى الدهن كلما ذادت كفاءتة على النفاذية من الغشاء البلازمى من وإلى الخلية بسهولة أذ أنه من المعروف أن العامل المحدد فى نفاذية المركبات من وإلى الخلية هو الغشاء البلازمى. كما أن كيوتيكل النبات يمنع خروج الغاز بدرجة كبيرة جداً وبذلك يحافظ على تركيز الايثيلين ثابت بداخل النبات بدرجة كبيرة ولذلك فأنه من المعتاد وفى الظروف البيئية العادية يكون تركيزه داخل النبات أكثر من تركيزه خارجه.

أهمية الأوكسين فى أنتاج الأيثيلين:

أول من أكتشف أهمية الأوكسين فى تنظيم إنتاج الأيثيلين هما Zimmerman Wilcoxon,عام ١٩٣٥ حيث لاحظا أن أستعمال إندول حامض الخليك (هيتروأوكسين heteroauxin) فى معاملة المجموع الخضرى للنبات يسبب حدوث إنفراج زاوية عنق الورقة epinasty لنباتات أخرى مجاورة غير معاملة بالأوكسين مع ملاحظة أن جميع هذه النباتات تكون فى حجره واحدة أو فى صندوق واحد same container. وقد وجد بعد ذلك أن بعض تأثيرات أندول حامض الخليك على النبات تماثل تأثير الأيثيلين ولذلك فقد تم أفتراض أن بعض تأثيرات الأوكسين تكون نتيجة تأثير الأيثيلين وأن الأخير ينتج نتيجة لتأثير الأوكسين . أى أن الأوكسين ينشط إنتاج الأيثيلين. ظل هذا الأفتراض مهمل حتى تمكن كلا من مورجان وهال Morgan, Hall عام ١٩٦٤ من أثبات أن الأوكسين ينشط تخليق الأيثيلين. وقد تم أثبات هذه الحقيقة فى كثير من المعامل بعد ذلك (شكل ١٨٣).

تعتبر الأوكسينات أهم عامل فى تنشيط تخليق الأثيلين، ولذلك تعتبر سرعة تخليق الأثيلين فى المجموع الخضرى متوقفة على تركيز الأوكسينات داخل النبات. أى أن تركيز أوكسينات النبات تنظم عملية تخليق الأثيلين فى الأنسجة الخضرية. ولذلك فإن المناطق ذات التركيز العالى من الأثيلين فى النبات مثل القمة النامية



(**شكل ١٨٣**) : تأثير الأوكسين علي إنتاج الأثيلين في عنق ورقة الفاصوليا.

والأعضاء الصغيرة السن تحتوى أيضاً علي تركيز عال من الأوكسينات، ويشذ عن هذة القاعدة حالة واحدة فقط هى الأنسجة الهرمة أى كبيرة السن أى فترة الشيخوخة حيث يقل تركيز الأوكسينات وقد يزداد تركيز الأيثيلين. درس تأثير الأوكسين فى تخليق الأثيلين فى بادرات البسلة وفاصوليا mung bean حيث وجد أن المعاملة بالأوكسين تزيد إنتاج وتخليق الأثيلين مائة مرة.

وجد أن الأوكسين ينشط عملية تحويل SAM إلىACC أثناء تخليق الأثيلين (شكل ١٨٥).

وقد أتضح أيضاً أن الأوكسين ينشط تكوين وتخليق الأنزيم الخاص بهذه الخطوة وهو ACCsynthetase (شكل ١٨٥). حيث وجد أن سيكلوهيكسيميد cycloheximide وهو مركب مثبط للبروتين يسبب تثبيط أنزيم ACCsynthetase وبالتالى يتوقف تخليق الأثيلين وبالرغم من وجود الأوكسين.

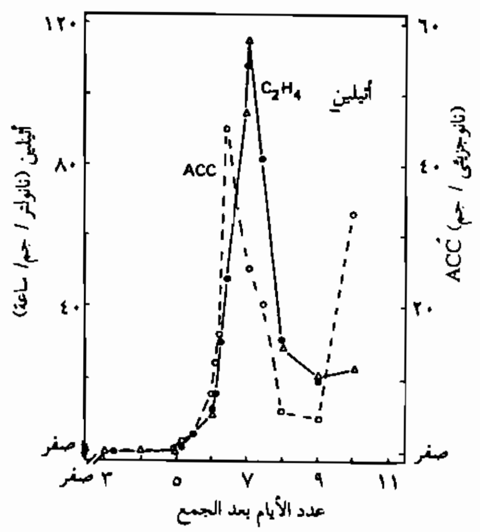
وجد أيضاً فى بعض الحالات أن السيتوكينينات والجبريللينات تزيد تركيز الأثيلين بدرجة طفيفة.وأيضاً فى بعض الحالات يسبب ABA زيادة فى تركيز الأثيلين فى الأوراق والثمار.

تنظيم تخليق الأيثيلين في الثمار الناضجة:

من المعروف الآن أن الأثيلين له دور رئيسى فى نضج الثمار ذات القمة climacteric fruits. وقد تم دارسة التغير فى تركيز ACC فى داخل الثمار كمقياس لأهمية الأثيلين فى نضج الثمار مثل الأفوكادو. تم دراسة التغير فى تركيز ACC الطبيعى endogenous وأيضاً تأثير المعاملة بـ ACC المضاف إلى الثمار exogenous فى إنتاج الأثيلين فى ثمار الأفوكادو فى أواخر فترة البلوغ وفى فترة النضج.

وجد أن تركيز ACC فى ثمار الأفوكادو قبل القمة preclimacteric يكون منخفض جداً وهو أقل من ٠,١ نانو جزيئى لكل جرام n mol/g. وجد زيادة كبيرة فى تركيز ACC الطبيعى عند النضج وعند زيادة تركيز الأثيلين بدرجة كبيرة أيضاً.يوضح المنحنى (شكل ١٨٤) العلاقة بين التغيير فى تركيز وأنتاج الأثيلين فى ثمار الأفوكادو.

يزداد تركيز ACC إلى ٤٥ نانوجزيئى لكل جرام n mol/g فى المرحلة الأخيرة من climacteric rise ثم يقل التركيز ألى ٥ نانوجزيئى لكل جرام وبعد ذلك يزداد



(شكل ١٨٤): تحول ACC إلى الأثيلين فى ثمار الأفوكادو أثناء المراحل المختلفة للنضج.

التركيز مرة أخرى. لاتكون الزيادة الثانية فى تركيز ACC مصاحبة لزيادة فى تركيز الأثيلين حيث توقفت القابلية لتحويل ACC إلى الأثيلين.

نستنتج من ذلك أن الأثيلين فى الفترة قبل القمة preclimacteric لا يتكون حيث أن ACC لا يتكون، وحيث أن المعاملة بـ exogenous ACC سببت زيادة طفيفة جداً فى إنتاج الأثيلين فى الفترة قبل القمة preclimacteric فإن ذلك دليل على أن أنسجة الثمار فى هذه الفترة غير قادرة على تحويل ACC إلى الأثيلين حيث أنه بإضافة ACC لم يتكون الأثيلين، والعكس صحيح عند معاملة الثمار بالأثيلين فى الفترة قبل القمة فإنه تتكون كميات هائلة من الأثيلين داخل الثمار. وتعرف هذه الظاهرة أى معاملة الثمار بتركيزات منخفضة من الأثيلين تسبب إنتاج كميات هائلة من الأثيلين بأسم إنتاج الأثيلين نتيجة للتحليل الذاتى autocatalytic ethylene production لا توجد هذه الظاهرة فى الثمار فقط بل توجد فى الأعضاء المسنة الهرمه أى فى فترة الشيخوخة، وفى أوراق البرتقال توجد هذه الظاهرة عند تعريض الأوراق للأثيلين لمدة ٢٤ ساعة أو أكثر. .يعزى تأثير الأثيلين فى هذه الظاهرة أنه يشجع تخليق ACC وتحويله إلى أثيلين.

تنظيم إنتاج الأثيلين الناتج عن الظروف البيئية القاسية:

Regulation of stress-induced ethylene production

توجد عوامل كثيرة تشجع تخليق الأثيلين بواسطة النبات بالأضافة إلى الأثيلين والأوكسينات ومنها السيتوكينينات و ABA والظروف القاسية (ضغوط stresses) مثل تأثير الكيماويات ودرجة الحرارة المنخفضة جداً والجفاف والفيضانات والرى الغزير لمدة طويلة والأشعاع وضرر الحشرات والأمراض والجروح (شكل ١٨٥)، وأصبحت حقيقة مؤكدة الآن أن الضغوط تسبب تشجيع تكون الأثيلين بواسطة النبات ولذلك يطلق الأصطلاح إثيلين الضغط stress ethylene بكثرة أى الأثيلين الذى ينتج بواسطة النبات فى وجود ضغط أو ضغوط أى فى وجود ظروف بيئية

قاسية غير طبيعية.ينتج أثيلين الضغط نتيجة لعمليات التحول الغذائى بواسطة خلايا حية ولكنها تحت ضغط stressed but living cells .

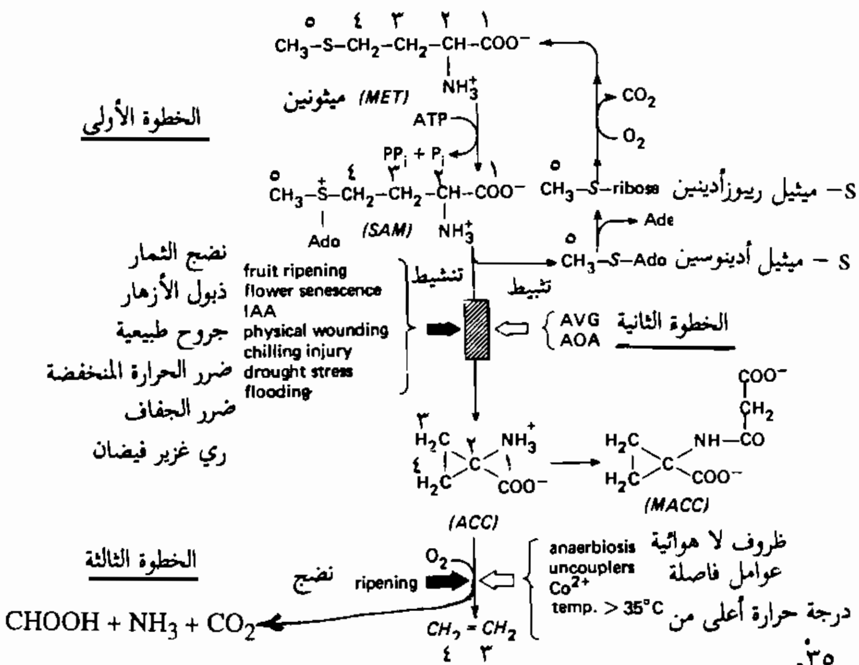
يسبب الضغط stress الزائد موت الخلايا وبالتالى توقف إنتاج الأثيلين. غير معروف بالضبط دور إثيلين الضغط فى النبات إلا فى حالتين وهما أنه يساعد فى سقوط الأوراق وأيضاً يساعد على وجود الشيخوخة ومن ذلك يتضح أن الأثيلين يعتبر عامل يربط بين مدى تأثر النبات بالضغط وبين أستجابة النبات للضغط وذلك بسقوط الأوراق أو الشيخوخة أى أنه يعمل كرسول ثانوىsecond-messenger. ولتوضيح دور الأثيلين بصورة أسهل نفترض وجود النبات فى بيئة قاسية شديدة الجفاف فإن النبات ينتج إثيلين بكثرة حيث أن هذا الأثيلين يسبب سقوط أوراق النبات أى الأثيلين هو الرسول الثانوى بين تأثر النبات وأستجابة النبات.وجد فى بعض الحالات والتى لا يمكن تعميمها أن أثيلين الضغط له دور فى إلتئام الجروح وفى إنتاج الفيتو ألكسينات phytoalexins وفى زيادة مقاومة النبات للأمراض.

تم دراسة التخليق الحيوى لاثيلين الضغط نتجة للبرودة القارصة chilling والجفاف وغمر الجذور بالماء flooding والجروح فى أنسجة بعض النباتات. وجد فى جميع الحالات حدوث تحول الميثيونين إلى ACC. وفى جميع الحالات يكون تركيز ACC والأثيلين منخفض قبل حدوث الضغط وكلاهما يزداد بسرعة كبيرة بعد حدوث الضغط. وجد أن خطوة تحويل SAM إلى ACC هى خطوه تعتبر المفتاح key reaction فى التحكم فى تخليق إثيلين الضغط ومما يثبت ذلك أن أستعمال مركب AVG (aminoethoxy vinylglycine) والذى يسبب تثبيط أنزيم ACC synthetase يمنع تكوين ACC وأيضاً يمنع تكوين أثيلين الضغط. وجد أيضاً أن أستعمال مركب مثبط لتخليق البروتين مثل سيكلوهيكسميد يمنع تجميع ACC ويمنع أيضاً تخليق الأثيلين.يتضح من ذلك أن الضغط يشجع تخليق ACC synthetase والذى يسبب تجميع ACC وبالتالى زيادة تخليق الأثيلين.

من المعروف أن غمر الجذور بالماء لمدة طويلة flooding ينتج عنه ظروف لا هوائية فى منطقة الجذر ويسبب زيادة تركيز الأثيلين فى المجموع الخضرى لكثير من النباتات.

وبدارسة هذه الحالة فى نباتات الطماطم وجد أن ACC يتكون فى الجذور المغمورة فى الماء waterlogged ثم ينتقل فى نسيج الخشب إلى أعلى إلى المجموع الخضرى وحيث يتحول إلى الأثيلين فى وجود الهواء.يتضح من ذلك أن ACC يمكن يظهر تأثيره عن طريق الأثيلين فى مناطق بعيدة عن مناطق تخليقة.

يمكن توضيح عملية تنظيم وتخليق الأثيلين حيويا فى الشكل (شكل ١٨٥). ويجب توضيح أن الأنزيم ACC synthetase الذى يحول SAM إلى ACC هو



(شكل ١٨٥) : تنظيم تخليق الأثيلين

أدينين =Ade
أدينوسين = Ado
aminoethoxyvinylglycine =AVG
aminooxyacetic acid =AOA

السهم الغامق تنشيط والسهم الفاغ تثبيط

الأساس فى عملية تنظيم تركيز الأثيلين أى عملية تخليقه. وجد أن تخليق هذا الأنزيم يصاحبه بعض التغيرات الحيوية مثل نضج الثمار وشيخوخة الأزهار كما يمكن إنتاج هذا الأنزيم عند معاملة النبات بالإثيلين أو الأوكسين exogenous ethylene or auxins كما أن عوامل بيئية قاسية أى الضغوط تسبب زيادة تخليق هذا الأنزيم ومن هذه العوامل الجروح وضرر الكيماويات وغمر الجذور بالماء والتنفس اللاهوائى للجذور والجفاف وضرر البرد القارص chilling injury. أما عن كيفية تحكم جميع هذه الحالات فى إنتاج أنزيم واحد فقط مفتاح key لأنتاج الأثيلين فهو غير معروف وربما يمكن فهم ذلك فى المستقبل.

وفيما يلى ملخص لما سبق ذكره فى ثلاث خطوات (شكل ١٨٥).

الخطوة الأولى: تحويل methionine (MET) المثيونين إلى S ـ أدينوزيل مثيونين S-adenosylmethionine (SAM) ويحتاج ذلك إلىATP الذى يعطى بيروفوسفات pyrophosphate والفسفور غير العضوى (Pi).

الخطوة الثانية: يتحول (SAM) إلى ١ ـ أمينوسيكلوبروبان ـ ١ ـ حمض الكربوكسيلك aminocyclopropane-l-carboxylic acid أو (ACC) وهذا التفاعل يحفزه إنزيم تخليق الـ ACC(ACC synthetase) وهذا على الأقل فى أنسجة الطماطم، وهذا الأنزيم يتحكم فى معدل تكوين الإيثيلين، وتنظم بعض الكيماويات نشاط هذا الأنزيم أو تركيزه والتى تشمل الـ IAA، وكذلك الجروح وفى وجود أو غياب الأوكسجين (حيث يقل تركيز الإنزيم تحت الظروف اللاهوائية) وكذلك بعض العوامل (من المحتمل هورمونات نباتية) الخاصة بعملية الإنضاج (التسوية). وبمعنى أكثر دقة بميكانيكية ما مجهولة حالياً، فإن كل العوامل السابقة الذكر تعمل بطريق مباشر على حث الإنزيم وبهذه الطريقة تتحكم فى معدل تكوين إنزيم ACCsynthetase بالتالى تتحكم فى إنتاج الإيثيلين. والنقطة الهامة التى يجب التأكيد عليها هى أن الـ IAA ينبه إنتاج الإيثيلين وذلك من خلال فعله الأساسى على حث إنزيم ACC synthetase. تلك الحقيقة هامة لتفهم الفعل والعمل الهور مونى

على ضوء المعلومات الوراثية genetic information ، وفضلا عن ذلك فإن الهورمونات النباتية المحثة للإنزيمات لابد أن تتفاعل كيمائياً مع الأحماض النووية. وكما هو موضح فى (شكل ١٨٥) فإن الخطوة الثانية ممكن أن تثبط أيضا بالمواد التى تثبط الإنزيم مثل الأمينو إيثوكسى فينيل جليسين aminoethoxyvinylglycine (AVG) والأمينو أوكسى حمض الخليك amino oxyacetic acid (AOA). كذلك فإن أحد الملامح الهامة الأخرى فى الخطوة الثانية هى إعادة دخول الكبريت فى تمثيل وبناء ميثيونين جديد. فى هذا المسلك يوجد مركب « S-ميثيل أدينوزين» S-methyl adenosine والذى يؤدى إلى تكوين « S-ميثيل ريبوز» S-methylribose ، وبالتالى يؤدى إلى تكوين المثيونين.

الخطوة الثالثة: ويحدث فيها تحول (ACC) إلى الأيثيلين ويترتب على ذلك إنتاج CO_2 والأمونيا وحمض الفورميك (formic) وتنشأ المركبات الكربونية (فيما عدا الإيثيلين) من ذرتى الكربون الأولى والثانية الخاصة بالمثيونين، أما كربون الإيثيلين فيأتى من ذرتى الكربون الثالثة والرابعة للمثيونين. والعوامل التى تؤثر فى هذا التفاعل هى العوامل التى تشجع الإنضاج (تسوية الثمار)، والمستوى العالى المثبط من CO_2، بالإضافة إلى أن التفاعل يثبط بالمستويات العالية من CO_2 ودرجات الحرارة الأعلى من ٣٥م والعوامل الفاصلة uncouplers والتى تفصل الفسفرة التأكسدية عن إنتقال الإلكترون مثل الداى نيترو فينول dinitrophenol (DNP) .

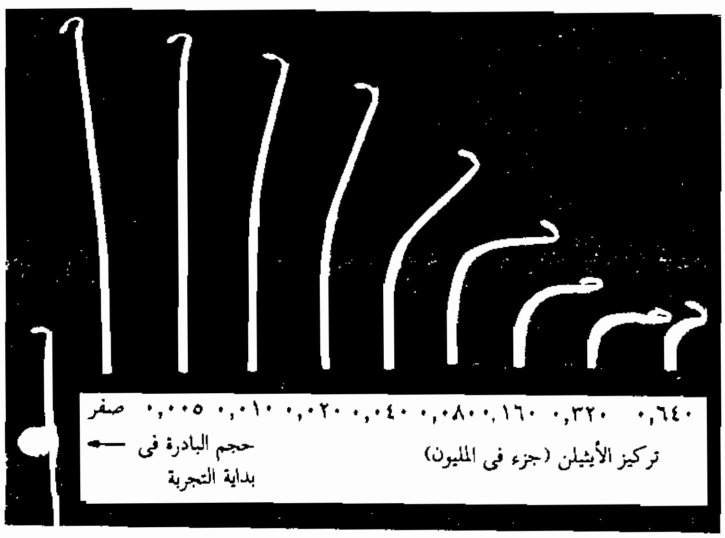
ولقد أشار يانغ Yang أن فهم هذا المسلك مع ميكانيكية أو آلية تكوين الإنزيمات فى الأنسجة النباتية سوف يؤدى ألى التحكم الناجح والمفيد فى العمليات الفسيولوجية الضارة لمرحلة ما بعد الحصاد post-harvest ويؤدى كذلك إلى التحكم فى إحداث التشكل المورفولوجى الوراثى morphogenetic events المتأثرة بالهورمونات النباتية.

أهمية الأثيلين في التحكم فى شكل الخلية:

توضح بادرة البسلة تأثير الأثيلين فى كثير من الحالات .عند معاملة البادرة بالأثيلين يظهر عليها حالة الإستجابة الثلاثية .يظهر على البادرة إنحناء فى قمة السويقة natural

hook والبرعم الطرفى يكون متجه إلى أسفل وملامس السويقة. يعتبر هذه الأنحناء هو المكان الذى ينتج منه كمية كبيرة من الأثيلين كما وجد أن الضوء وبالتحديد الضوء الأحمر يقلل من إنتاج الأثيلين فى هذه المنطقة. وجد أن معاملة وسطية إنتقالية بالضوء الأحمر transient redlight تسبب خفض متوسط إنتقالى فى تركيز الأثيلين وزيادة فى نمو الريشة أى أنفراج وأنفتاح الأنحناء أى يصبح النمو رأسى.وجد أن التعريض للأيثيلين فى هذه الحالة يسبب إنحناء القمة مرة أخرى حتى فى وجود الضوء.وجد أن التفريغ الجزئى partial vacuum أو وجود أيون الفضه أو التركيز العالى من ثانى أكسيد الكربون يسبب إنفراج الإنحناء فى الظلام. توضح جميع الحالات السابقة أن نمو الإنحناء الطرفى يتحكم فيه تركيز الإثيلين.

عند إنبات بذرة البسلة فى التربة وفى وجود تربة بها قلاقيل وقليلة التنعيم فإن ذلك يعتبر حائل أو مانع ضد نمو بادرة البسلة ولذلك يقل طول البادرة أى يبطء نمو البادرة ويزداد سمك البادرة أى يزداد النمو القطرى وينمو المجموع الخضرى أفقيا ويعتبر ذلك دلائل الأستجابة الثلاثية للأثيلين (شكل ١٨٦). وتفسير ذلك أن



(**شكل ١٨٦**) : تأثير المعاملة بالأثيلين لمدة يومين على بادرات بسلة نامية فى الظلام. يزداد التركيزمن الشمال إلى اليمين.يلاحظ تقزم وزيادة سمك الساق وحدوث نمو أفقى.

قلاقيل التربة تعتبر حائل أو مانع ضد نمو البادرة بدرجة معينة مما يسبب زيادة إنتاج الأثيلين بواسطة البادرة وبالتالى يسبب الأثيلين التغيرات السابقة التى طرأت على نمو البادرة.يعتبر هذا التغير فى تركيب البادرة عبارة عن طريقة فعالة تساعد البادرة على المعيشة والحياة وعدم الموت survival mechanism حيث أن الزيادة فى قطر البادرة أو السويقة يجعلها أكثر قوة فى إزالة أو إختراق قلاقيل التربة وذلك بالمقارنة بالبادرة العادية وبذلك يسهل ظهور البادرة فوق سطح التربة ولا تموت.كما أن النمو الأفقى يسبب وصول القمة النامية للبادرة إلى شق فى القلاقيل أى شق فى التربة أو التعريض للضوء وبذلك لا يوجد حاجز لمنع البادرة من النمو ولذلك يقل إنتاج الأثيلين وتنمو البادرة رأسيا أى نمو عادى.لاحظ المؤلف هذه الحالة بوضوح كبير فى حالة بادرات الفاصوليا والقطن المصابة بفطر *Rhizoctonia solani* أى أن هذا الفطر يسبب حالة الأستجابة الثلاثية للبادرات حتى فى حالة تنعيم التربة حيث أن حالة الضغط فى هذه الحالة هو نتيجة للأصابة بالفطر وليست قلاقيل التربة وبذلك يسبب الفطر تنبيه للنبات لزيادة إنتاج الأثيلين وقد ينتج الفطر أيضا الأثيلين فتزداد كمية الأثيلين فى البادرات المصابة وتحدث الأستجابة الثلاثية فى التربة الناعمة عديمة القلاقيل.أى أن الأستجابة الثلاثية فى البادرات تحدث نتيجة لوجود القلاقيل وعدم تنعيم التربة أو نتيجة الأصابة بفطر *Rhizoctonia solani* أى نتيجة للأصابة بالأمراض أو نتيجة لعوامل ميكانيكية مثل عدم تنعيم التربة ووجود القلاقيل.

يوضح هذا المثال أن الأثيلين يؤثر على شكل الخلية حيث أنه يثبط إستطالة الخلية cell elongation وينشط زيادة عرض الخلية cell radial growth وبذلك يقلل من طول البادرة ولكن يزيد من سمكها ولذلك نجد أن الوزن الغض للبادرة ثابت فى كلا الحالتين.

ولذلك فإن الأثيلين يعمل كمنظم لشكل الخلية والبادرة ولايعمل كمثبط لنمو البادرة.

Ethylene acts as a regulator of cell shape and seedling behavior rather than strictly as a growth inhibitor.

دور الأثيلين فى نمو البنات:

يوجد دور للأثيلين فى التحكم فى كثير من العمليات الحيوية فى أثناء حياة النبات مبتدئاً من طور سكون البذور والمراحل الأولى للبادرة إلى سقوط الأوراق ونضج الثمار.

وجدت طفرة فى نبات الطماطم تنمو فيها الجذور والسيقان أفقياً ولها ساق رفيعة خالية من الأوعية الخشبية الكبيرة الخاصة بالخشب الثانوى كما أن الأوراق تظهر حالة الزاوية الضيقة بين عنق الورقة والساق hyponasty كما أن الجذر الإبتدائى خال من الجذور الجانبية. وجد أن هذه البادرة الطفرة يمكن أن تصبح نبات عادى عند معاملتها بتركيز منخفض من الأثيلين وهو ٥ نانولتر لكل لتر، يتضح من ذلك أيضاً أن تركيز منخفض جداً من الأثيلين يمكن أن يتحكم وينظم نمو النبات. وجد أيضاً أن تكوين وتشكل القصيبات فى نسيج الخشب فى نبات الخس يحتاج إلى ١٠٠ نانولتر لكل لتر . يعتقد أن الأثيلين يؤثر على الكثير من العمليات الخاصة بنمو النبات أثناء مراحل النمو المختلفة ولكن لابد من إجراء بحوث بكميات هائلة لكى نتأكد من أن هذا الإعتقاد واقع وحقيقة.

طرق تقدير الأثيلين وتقدير تركيزه:

توجد لذلك طرق كثيرة يمكن بواسطتها تقدير تركيز غاز الأثيلين وإثبات وجوده أو عدم وجوده ومنها طرق قديمة غير دقيقة ومنها طرق كيماوية بحتة ومنها طرق bioassay أى أنها طرق تستعمل النبات أو أجزاء منه فى تقدير تركيز الأثيلين . إلا أنه كما سبق ذكره أن أهم هذه الطرق هو استعمال gas chromatography ولذلك فإن جميع الأبحاث الحالية التى تجرى على هذا الغاز تجرى بواسطة استخدام gas chromatography وفيما يلى شرح لهذه الطرق:

١ ـ طريقة Triple Response of Ethylene:

وهى تعتبر طريقة من طرق bioassay بمعنى أنها تستخدم النبات أو جزء منه

لتقدير تركيز الأيثيلين.وفى هذه الطريقة يجرى بالفعل استعمال بادرات نبات البسلة صنف Alaska والتجربة كلها تجرى فى الظلام حيث تنمى البادرات فى الظلام لمدة ٣ـ٧ أيام ثم تعرض لمدة يومين لتركيزات مختلفة من الأيثيلين ثم تؤخذ النتائج.وقد وجد أن التركيزات العالية من الاثيلين التى تترواح من ٠,٠٨ ـ ٠,١٤ جزء فى المليون تسبب حدوث triple response أى معناه وجود ٣ تأثيرات: (أ) قصر الساق و (ب) حدوث إنتفاخ swelling ويصبح الساق سميك و (حـ) الساق ينمو أفقيا ولا ينمو رأسيا. وبذلك باستعمال تركيزات مختلفة مجهولة يمكن معرفة التركيز. .وعيوب هذه الطريقة:

أ ـ بطيئة وتحتاج إلى حوالى ٣-٧ أيام لتنمية البادرات فى الظلام وأيضا يومين هما مدة المعاملة.

ب ـ يجب عمل التجربة فى جو خالى من الأثيلين وهذا غير مضمون تماما وإلا سيتداخل التركيز الموجود مع التركيز المستعمل.

حـ ـ هذه الطريقة غير متخصصة إذ وجد أن ملوثات الايثيلين من الغازات الأخرى مثل البروبيلين propylene و butylene و acetylene يمكن أن تحدث هذا التأثير ولذلك يجب أن يكون الغاز نقى تماما.

٢ ـ طريقة البروم:

وفى هذه الطريقة يمرر الايثيلين الناتج من النبات أو الثمار على ماء بروم brominewater على درجة حرارة ـ٦٥م لجعله سائل ونتيجة لذلك يصبح الايثيلين عبارة عن بروميد الايثيلين.

ثم تجرى عملية تنقيط لهذا المركب بمركب الأنيلين فيتكون المركب N,N, diphenylethylenediamine ويمكن حساب كمية الايثيلين من المركب الأخير أو من كمية الأنيلين المستعملة فى التنقيط فكلما زاد تركيز بروميد الاثيلين كلما احتاج كمية أكبر من الأنيلين aniline .

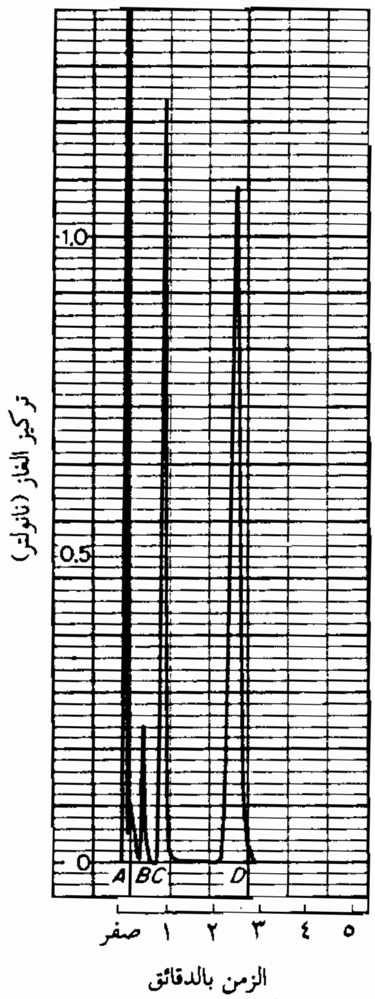
أى أنها طريقة معايره عادية من طرق المعايرة المستعمله فى الكيمياء.

وهذه الطريقة أول من استعملها Gane سنة ١٩٣٤ لتقدير تركيز غاز الايثيلين الناتج من ثمار التفاح أثناء نضجها وقد استعملت بعد ذلك لثمار كثيرة وعيوب هذه الطريقة: أنها غير دقيقه و غير متخصصة أيضا حيث أن المركبات الأخرى من الهيدروكربون الغير مشبعة أى التى تحتوى على رابطة مزدوجة والسابق ذكرها فى الطريقة السابقة يمكن أن يحدث لها نفس التفاعلات التى تحدث لغاز الاثيلين وبذلك فإنها تتداخل فى تقدير تركيز غاز الاثيلين.

٣ - طريقة الغاز كروماتوجرافى Gas Chromatography:

هذه الطريقة أدق الطرق المستعملة وهى التى تستعمل الأن فى تقديرتركيز غاز الايثيلين حيث تؤخذ عينة من النبات أو الثمار بواسطة حقنة (حقنة عادية) وتحقن هذه العينة فى الجهاز. وفى عمود الجهاز يتم فصل الأيثيلين عن الغازات الأخرى وفى نهاية العمود يتم الكشف والتعرف على الغاز بواسطة نوع حديث من detectors هو عبارة عن flame ionization detectors والذى يكون حساس لتركيزات قليلة جدا من غاز الايثيلين حتى جزء أثيلين لكل بليون جزء. وهذا التركيز قليل جدا وكاف لدراسة العمليات الفسيولوجية فى النبات حيث أن هذه العمليات تحدث فى تركيزات أعلى من ذلك. وبإستعمال هذا الجهاز اتضح أن النبات السليم ينتج أيضا ايثيلين حيث يتدخل هذا الغاز فى العمليات الحيوية للنبات ولم يكن ذلك معروف من قبل ألا بعد تقدم طرق الفحص باستعمال جهاز Gas chromatography .

يتم فصل الغازات الموجودة فى العينة المختبرة بواسطة هذا الجهاز ويتم رسم منحنى تلقائى بواسطة هذا الجهاز (شكل ١٨٧). ومن هذا المنحنى يمكن التعرف على أنواع الغازات الموجودة فى العينة وتركيزها. حيث أن لكل غاز قمة عند مسافة معينة ثابتة من بداية الاختبار. تقاس هذه المسافة بمسطرة عادية من بداية الرسم. تعتبر مساحة الشكل القمى مقياس لتركيز غاز الأثيلين حيث أنه كلما زادت المساحة كلما زاد التركيز.



(شكل ١٨٧) : تسجيل نتيجة إختبار الكروماتوجرافى الغازى على ورقة رسم بيانى حيث A هواء و B غاز إيثين ethane و C غاز الأثيلين و D البروبان.

فى هذه العينة يوجد إيثيلين بتركيز ١و٢ نانو لتر فى عينة تم حقنها بالجهاز وذات حجم نصف $\frac{١}{٢}$ مل .أى أن التركيز عبارة عن ٢,٤ جزء فى المليون.

التأثيرات المختلفة للأيثيلين على النبات Endogenous Ethylene:

توجد تأثيرات كثيرة لهذا الغاز على نمو النبات أهمها ما يأتى:

١ ـ الشحوب الضوئى Etiolation:

تختلف النباتات التى تنمو فى الضوء عن النباتات التى تنمو فى الظلام حيث أن النباتات الأخيرة الشاحبة etiolated تكون سيقانها طويلة أكثر من المعتاد وأوراقها المتكونة بطريقة غير طبيعية حيث أنها تكون صغيرة الحجم بدرجة واضحة وأن الجزء الموجود تحت البرعم الطرفى يكون منحنى ليكون ما يسمى بالـ apical hook ويكون لون الساق والأوراق أصفر أو أخضر شاحب وليست أخضر . والايثيلين لا يؤثر على جميع هذه الظواهر بل يؤثر فقط بطريقة واحدة ثابتة على apical hook تحت القمة المنحنية والتى سبق شرحها بالتفصيل فى تأثير الضوء على انتاج الايثيلين. وعامة فى حالة بادرة البسلة فإنها تنتج كمية أكبر من الأثيلين فى الظلام عنه فى الضوء . يتضح أيضا أن الضوء الاحمر ذو طول الموجة ٦٦٠ نانومتر هو المؤثر فقط دون ألوان الطيف الضوئى الأخرى ويسبب إستقامة الجزء المنحنى من قمة البادرة . يمكن إعادة حدوث الإنحناء للقمة المستقيمة عند تعريضها إلى ضوء أحمر بعيد far red وطول موجة ٧٣٠ نانومتر.

وجد أيضا أن للضوء الأحمر وأيضا الأحمر البعيد تأثير عكسى على نمو غمد الريشة لنبات الأرز.

٢ ـ إحداث الأزهار Floral Initiation :

من المعروف منذ زمن بعيد أن غاز الاستصباح يساعد على إزهار نبات الأناناس وقد وجد أن الأيثيلين وبعض الهيدروكربونات الغير مشبعة مثل غاز الاستيتيلين تساعد على إزهار بعض النباتات ومنها الأناناس. ومن المعروف أن معاملة النباتات بالأوكسين تشجع أزهار نباتات الأناناس ومن المعروف أن السبب فى ذلك هو أن الأوكسين يشجع تكوين غاز الايثيلين وأن الأخير يساعد على الأزهار . لذلك فإنه يمكن دفع نبات الأناناس على الأزهار بتغطيته بكيس بلاستيك وبداخله موز ناضج. ومما هو جدير بالذكر أن القاعدة العامة هو أن غاز الأثيلين يسبب تثبيط الأزهار وأن بعض شواذ هذه القاعدة الأناناس و *Plumbago indica*.

٣ ـ ظاهرة السيادة القمية:

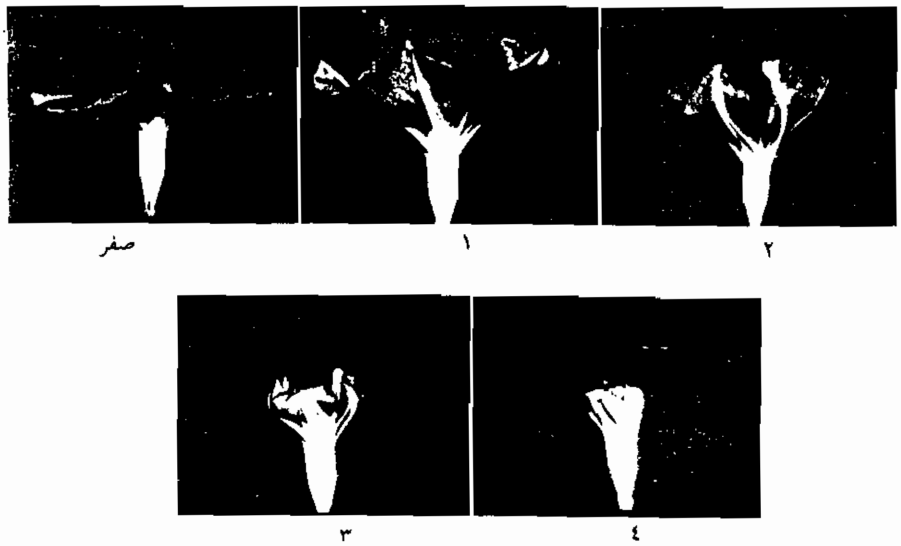
من المعروف أن هذه الظاهرة وكما سبق شرحة فى الأوكسينات تحدث لزيادة تركيز الأوكسين فى البراعم الأبطية ونتيجة لذلك ينتج الأوكسين غاز الايثيلين وهو الذى يسبب منع نمو البراعم الأبطية. أى يكون تأثير الأوكسين هو عن طريق الاثيلين.

وجد فى بعض الحالات كما سبق شرحة وفى هذه الحالة وفى الحالة السابقة أن تأثير الأوكسين هو نتيجة لتكوينه غاز الايثيلين ولكن هذا لا يعنى أن جميع التأثيرات المختلفة للأوكسينات هى نتيجة لانتاج غاز الايثيلين ولكن بعض من هذه الحالات فقط.

٤ ـ ذبول الأزهار Flower fading:

فى أزهار الأوركيد فى عدم حدوث الأخصاب والتلقيح فإن الزهرة تستمر عادية لفترة طويلة أما بعد التلقيح فإن الزهرة تذبل بسرعة وذلك راجع إلى أن التلقيح ينتج عنه غاز الايثيلين الذى يسبب ذبول وشيخوخة بتلات الزهرة.

مثل آخر فى حالة زهرة الايبوميا *Ipomoea tricolor* فإن الزهرة تفتح فى الصباح ثم تبدأ فى الأرتخاء فى فى منتصف النهار ثم تذبل وتلتوى وتتجعد بتلاتها فى المساء (شكل ١٨٨). قبل بداية التواء وتجعد البتلات يبدأ تكوين غاز الأيثيلين ويحدث الالتواء فى البتلات نتيجة التغير فى ضغط الانتفاخ لخلايا العرق الوسطى للبتلة. وتفسر هذه الحالة بأن كبر سن البتلة aging يجعل tonoplast وهو الغشاء البلازمى الذى يحيط بالفجوة العصارية ممكن أن ينفذ الحامض الأمينى ميثيونين الموجود فى الفجوة العصارية إلى السيتوبلازم. وفى الأخير يتحول هذا الحامض الأمينى إلى الايثيلين وأن الايثيلين بدوره يسرع من تحلل غشاء tonoplast وبذلك يزيد من سرعة العملية حيث ستنفذ كمية كبيرة من الحامض الأمينى المذكور من الفجوة العصارية إلى السيتوبلازم. يعتقد أن كبر سن البتلة يسبب أن يصبح غشاء التونوبلاست قابل إلى حد ما للرشح slightly leaky ولذلك ينفذ الميثيونين.



(شكل ١٨٨) : زهرة الأيبوميا *Ipomoea tricolor* في الفترة بين ٦ صباحا إلي الواحدة ظهرا. توضح ذبول الزهرة في هذه الفترة . يحدث ذبول الزهرة (شيخوخة الزهرة) نتيجة لانتاج الأثيلين بواسطة الزهرة بعد ساعات قليلة من تفتحها. يسبب ذلك تغيرات في ضغط الانتفاخ لخلايا العرق الوسطي للبتلات وينتج عن ذلك التجعد للبتلات وذبولها .

ثبت أن معاملة أزهار الأوركيد بتركيز من الأيثيلين أقل من واحد جزء فى المليون يسبب ذبولها.

٥ - تفتح البراعم الزهرية:

يمنع الأثيلين تفتح البراعم الزهرية. وحتى فى حالة تفتح البراعم فإنها تغلق مرة أخرى عند تعريضها للأثيلين. يسبب الأثيلين شيخوخة بعض الأزهار على الأقل حيث تذبل وقد تسقط. وتعتبر أزهار الأوركيد والورد والقرنفل شديدة الحساسية للأثيلين بينما أزهار الداليا عديمة الحساسية للأثيلين.

٦ - تكوين الجذور العرضية والشعيرات الجذرية:

تتكون الجذور العرضية والشعيرات الجذرية بكميات كبيرة على الساق ومن ذلك يتضح أن الايثيلين أيضا يمكنه أن يساعد على انقسام الخلايا وتكوين الجذور

العرضية ويحدث ذلك فى بعض من النباتات ومنها نبات الطماطم. كما وجد أيضا أن معاملة الجذور بالايثيلين يساعد على كثافة تكوين الشعيرات الجذرية.

يساعد كل من الأوكسينات والأيثيلين على تكوين الجذور العرضية على العقل الساقية ويمكن أن يكون تأثير هما مختلطين منشط synergistic. وفى بعض الحالات وجد أن معاملة الأوراق المقطوعة بالأثيلين تسبب تكوين الجذور العرضية.

٧ - قصر الساق:

من المعروف وكما سبق ذكره فى حالة الأستجابة الثلاثية أن التركيزات العالية من غاز الايثلين تمنع النمو الطولى للخلايا وتسمح بالنمو العرضى لها ولذلك يحدث لها أنتفاخ swelling. يسمى النمو العرضى للخلايا isodiametrical.

فى حالة الأستجابة الثلاثية triple response فإن الساق تكون قصيرة وسميكة وتنمو أفقيا.

يسبب الأثيلين قصر نمو الساق ويوجد شواذ لذلك مثل غمد الريشةmesocotyl لنبات الأرز ونبات *Callitriche* .

٨ - قصر الجذور وتفرعها:

معاملة بعض النباتات بالايثيلين تسبب قصر الجذور وأيضا تظهر حالة غير طبيعية isodiametric حيث يحدث تفرع للجذور وذلك كما فى جذور البصل.

٩ - الأنتحاء الأرضى:

عند تعريض الساق النامية رأسيا للأيثيلن فإنها تنحنى وتنمو أفقيا. وعند وضع النبات أفقيا فإنه ينحنى ويتجه إلى أعلى وعند تعريضه للأثيلين فإن الساق يستقيم وينمو أفقيا (شكل ١٨٦). أى أن الأثيلين يسبب نمو الساق وأيضا الجذور نمو أفقى أى عمودى على إتجاه الجاذبية الأرضية diageotropic response.

١٠ ـ نقص تركيز الكلوروفيل:

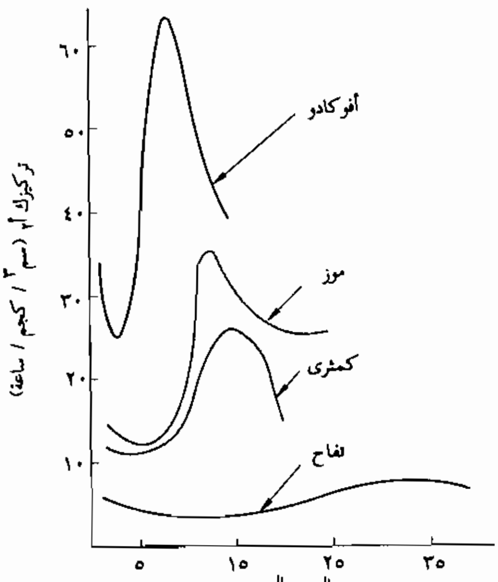
تسبب المعاملة بالأثيلين تغير اللون من الأخضر إلى الأصفر فى ثمار البرتقال والموز. ثبت زيادة نشاط أنزيم الكلوروفيلليز والذى يحلل الكلوروفيل وبالتالى يقل تركيزة. تطبق هذه المعاملة على نطاق تجارى لتساعد فى تغيير لون ثمار الموز والمانجو والبرتقال من اللون الأخضر إلى اللون الأصفر أو البرتقالى. كما ثبت أن هذه المعاملة تشجع تخليق B-carotene وlycopene فى ثمار الطماطم والأنثوسيانين فى ثمار العنب.

١١ ـ نضج الثمار:

يلعب الأثيلين دور هام فى إنضاج الثمار وسبق القول أنه بعد التلقيح يكبر حجم المبيض نتيجة لتكون بعض من الهورمونات بتركيزات مناسبة منها الأوكسين والجبريللين ولكن بعد وصول الثمرة لتمام حجمها فإنه يحدث فيها تغيرات لكى يحدث النضج.

كثير من الثمار مثل التفاح بالرغم من وصولها إلى حجمها الطبيعى تكون غير قابلة للأكل لحموضتها وصلابتها والنضج فى التفاح يكون ضرورى وفيه يحدث اختفاء كمية كبيرة من حامض الماليك والذى يسبب عدم نضج الثمرة كما يسبب الطعم الحامضى.

وعامة فإن كثير من الثمار تنضج بسرعة بعد قطفها وذلك يوضح أن تأثير النضج يحدث من الثمرة نفسها. والنضج فى بعض الثمار يكون مرتبطا بالزيادة فى سرعة التنفس وعند دراسة سرعة التنفس أثناء نضج الثمار فإننا نلاحظ عند زمن معين زيادة كبيرة جدا فجائية فى تركيزك أ٢ الناتج من التنفس وذلك لمدة قصيرة ثم يلى ذلك نقص كبير فى التركيز فجأة أيضا وهذه الفترة التى يحدث فيها زيادة سرعة التنفس وزيادة انتاج ك أ٢ تسمى بالـ climacteric وبعد هذه الفترة مباشرة تتحول الثمرة بسرعة من ثمرة غير ناضجة إلى ثمرة ناضجة قابلة للأكل (شكل ١٨٩).



(شكل ١٨٩) : تقدير climacteric فى الثمار الناضجة.

وهذا climacteric يمكن منعه باستخدام مثبطات التنفس أو بتركيز عالى من ك أ٢ أو بتركيزات من غاز النيتروجين أو بدرجة الحرارة المنخفضة وعلى العكس من ذلك فإن غاز الايثيلين يساعد على حدوث climacteric والنضج فى الثمار البالغة.

قديما كان من الثابت أن الأيثيلين ينتج بعد فترة climacteric ولكن باستخدام جهاز gas chromatography أوضح أن الايثيلين ينتج قبل بداية climacteric مباشرة.

وعامة فإن الايثيلين ينتج بكميات قليلة طول الوقت ولكن تتضاعف كمية إنتاجه مئات المرات فى الثمار أثناء فترة climacteric وقد وجد إنه عند منع نضج الثمار باستعمال درجة حرارة منخفضة فإن انتاج الايثيلين يقل أيضا ولذلك فأن الايثيلين يعتبر natural fruit ripen hormone هرمون طبيعى لنضج الثمار وأمكن إثبات ذلك أيضا باستبعاد الايثيلين المتكون بسرعة من الثمار وذلك بتعريض الثمار لضغط منخفض مع وجود تركيز عادى من الأوكسجين وتحت هذه الظروف فإن النضج يتأخر.

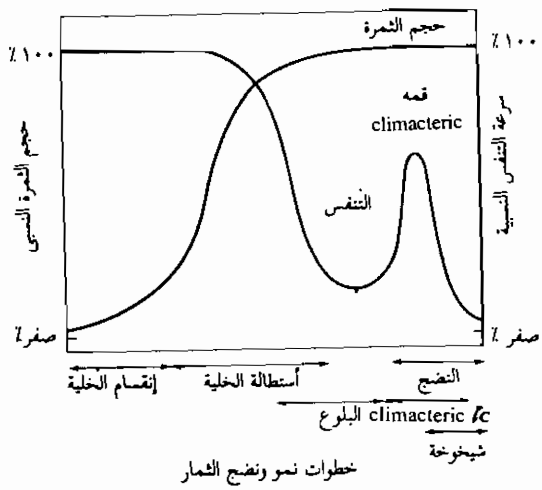
أما عن كيفية حدوث النضج بواسطة الايثيلين فإنه بالرغم من أنه فى بعض الثمار مثل الأفوكادو والمانجو أن أنتاج الايثيلين وزيادة سرعة التنفس مصاحبة لبعضهما فإنه فى بعض الثمار الأخرى مثل الموز فإن الايثيلين يقل قبل وصول السرعة المثلى للتنفس. وهذا يدل على أن الايثلين ينشط بعض العمليات التى من شأنها تحدث نضج الثمار ولذلك فإن للايثيلين تأثيرين: (أ) عملية الانضاج تحتاج أنزيمات أى تخليق بروتين وأن الايثيلين يساعد على سرعة تخليق البروتين (ب) أن الايثيلين يؤثر على نفاذية الأغشية مثل غشاء tonoplast وبذلك يسمح بخروج مركبات من الفجوة العصارية إلى السيتوبلازم بعد أن كانت محصورة فى الفجوة العصارية أو العضيات المختلفة للخلية. وبذلك تعمل الأنزيمات الموجودة فى السيتوبلازم على هذه المركبات المحررة من أجزاء الخلية المختلفة. وأيضا كما سبق شرحه بالتفصيل فى زهرة الإيبوميا فى ذبول الأزهار.

يمكن تصنيف الثمار إلى ثمار ذات القمة climacteric fruits وثمار عديمة القمة nonclimacteric fruits. ومن أمثلة المجموعة الأولى التفاح والكمثرى والموز والأفوكادو. ومن أمثلة المجموعة الثانية العنب والتين والليمون والبرتقال. وفى حالة المجموعة الثانية فإن سرعة التنفس تقل تدريجيا مع عدم وجود إرتفاع أو إنخفاض مفاجئ حاد peak. تسبب المعاملة بالأثيلين نضج الثمار فى الحالة الأولى ولا تؤثر على نضج الثمار فى الحالة الثانية.

ومن وجهه النظر البستانية فإن الثمار عديمة القمة يمكن أن تنضج على النبات بينما الثمار ذات القمة فإن النضج يحدث بعد قطع أو جمع أو سقوط الثمار.

يتميز الأثيلين عن بقية الهورمونات بأن تركيز قليل منه فى البداية يسبب زيادة كبيرة جداً فى تركيزه بعد ذلك ويحدث ذلك فى الثمار ذات القمة ولكنه لايحدث فى الثمار عديمة القمة. أى أن معاملة الثمار بتركيز منخفض تسبب تنشيط الثمار لتكوين كميات كبيرة نسبياً من الغاز.

يتضح مما سبق أن الثمرة أثناء تكوينها ونموها يحدث فيها إنقسام للخلايا ثم كبر في حجم الخلايا وفى المراحل الأخيرة من كبر حجم الخلايا تدخل الثمار فى مرحلة البلوغ maturation وفى نهاية مرحلة البلوغ تبدأ مرحلة النضج وفى أثناء المرحلة الأخيرة تحدث حالة القمة climacteric. وفى أثناء النضج تبدأ مرحلة الشيخوخة senescence. يزداد حجم الثمرة ثم يتوقف فى نهاية مرحلة البلوغ. وفى مرحلة النضج لايحدث تغيير فى حجم الثمار بل تحدث تغييرات فى عمليات التحول الغذائى فى الثمار ومن أمثلتها زيادة نشاط الأنزيمات المحللة للمركبات البكتينية والتى ينتج عنها طراوة فى الثمار (شكل ١٩٠). بعد بداية القمة climacteric يحدث تحول سريع وكبير فى عمليات التحول الغذائى ينتج عنها نضج الثمار.



(**شكل ١٩٠**) : التغيرات التى تحدث فى حجم الخلية وفى سرعة التنفس أثناء نمو وبلوغ ونضج الثمار.

تقل سرعة عملية التنفس بزيادة عمر الثمرة وهكذا حتى تنخفض بدرجة كبيرة جداً أو تتوقف وفى هذه الأثناء تصبح الثمار عرضة للتلف وأيضاً للإصابة بالفطريات والبكتريا الرمية.

تغليف الثمار بالشمع waxing يسبب تأخير عملية النضج وأيضاً تأخير إنتاج الأثيلين حيث أن الشمع يمنع أو يقلل نفاذ الأوكسجين إلى داخل الثمار وبالتالى يقل تركيز الأوكسجين فى الثمار وبالتالى يقل إنتاج وتركيز الأثيلين فى الثمار.

تفشل كثير من الثمار فى النضج فى درجة ٣٥ مئوية ومافوقها حيث أن درجة الحرارة المرتفعة تسبب تثبيط تخليق الأثيلين.

يزداد تركيز RNA والبروتين أثناء عملية النضج ، أمكن إثبات ذلك بإستعمال uridine مشع حيث تصبح الثمار المعاملة بهذا المركب محتوية على RNA مشع فى أثناء فترة النضج. أمكن أيضاً إثبات ذلك بإستعمال فوسفور مشع حيث تصبح الثمار المعاملة محتوية على أحماض أمينية مشعة وبروتين مشع أثناء فترة النضج. وفى أثناء فترة النضج يزداد نشاط بعض الأنزيمات منها الأنزيمات المحللة للمركبات البكتينية والتى تسبب طراوة الثمرة وأيضاً أنزيمات decarboxylase والتى تسبب زيادة سرعة التنفس.

يحدث أثناء عملية النضج عمليات كثيرة ومنها مايأتى : تفقد الثمرة اللون الأخضر نتيجة لقلة تركيز الكلوروفيل. وغير معروف كيف يتم نقص تركيز الكلوروفيل بالتفصيل. يحدث تحلل فى أغشية البلاستيدات الخضراء. يتم تخليق الزانثوفيل فى التفاح و lycopene فى الطماطم ويتسبب عن ذلك تغيير لون الثمار. يتحول النشا إلى سكر وتقل الحموضة وبالتالى يتحسن الطعم. تتكون مركبات متطايرة عديدة منها الأثيلين تعطى رائحة مرغوبة للثمار. وبزيادة النضج عن حد معين تصبح الثمرة قابلة للعفن بواسطة فطريات وبكتريا رمية.

تسبب الزيادة فى تركيز الأثيلين فى الثمار زيادة فى تركيز ABA فى بعض حالات الثمار ذات القمة مثل التفاح والكمثرى والأفوكادو. لوحظت هذه الحالة أيضاً فى أثناء نضج لوز القطن. وفى بعض الحالات تسبب المعاملة بالأثيلين زيادة تركيز ABA. ولذلك فى بعض الثمار ذات القمة وفى لوز القطن يسبب الأثيلين زيادة فى تركيز ABA وغير معروف ميكانيكية حدوث ذلك.

١٢- التنفس:

لايؤثر الأثيلين على عملية التنفس فى النبات عدا فى بعض حالات نضج الثمار . يمكن أن تكون قمة منحنى التنفس ملازمة لقمة تركيز الأثيلين أو تسبقها أو تليها فى الثمار ذات القمة أثناء مرحلة النضج. تزداد سرعة التنفس فى كثير من الثمار على درجة ٣٥ مئوية بينما يتوقف أو تقل جدا عملية إنتاج الأثيلين ،يمكن أن يؤثر الأثيلين على إنتاج أو نشاط بعض أنزيمات التنفس ومما يثبت ذلك فشل المعاملة بالأثيلين لثمار الموز من عمل منحنى التنفس ذو القمة فى وجود المضاد الحيوى cycloheximide والذى يسبب تثبيط تخليق البروتين ومنه بروتين الأنزيمات.

١٣- سقوط الأوراق:

يعتمد عادة سقوط الأوراق على وجود منطقة انفصال موجودة عند قاعدة عنق الورقة وهى تتكون أما مبكرا نسبيا عند تكوين الورقة أو عندما تكون الورقة بالغة تماما وذلك يتوقف على نوع النبات. يتميز تشريح منطقة الانفصال بأنها تتكون من خلايا بارنشيمية صغيرة الحجم عنه فى الخلايا المجاورة كما أن الألياف قد تكون غائبة من الحزم فى هذه المنطقة وأيضا أوعية الخشب وخلايا نسيج اللحاء تكون أقصر من مثيلاتها فى المناطق الأخرى وهذا التركيب التشريحى يجعل هذه المنطقة منطقة ضعف فى الورقة.

سقوط الأوراق يحدث نتيجة لشيخوخة الورقة أما نتيجة natural aging كما فى الأشجار مستديمة الخضرة أو نتيجة للظروف البيئية كما فى الأشجار متساقطة الأوراق وفى الحالة الأخيرة فإن العامل البيئى يسبب قصر طول النهار وأيضا انخفاض درجة الحرارة وينتج عن هذين التأثيرين تغيرات فى التحول الغذائى فى داخل أنسجة الورقة والتى تسبب سقوط الأوراق.

قبل سقوط الأوراق فإن تحدث تغيرات كثيرة فى منطقة الأنفصال فإن يحدث انقسام للخلايا بسرعة كبيرة وتكون طبقة من الخلايا لها شكل قالب الطوب brick

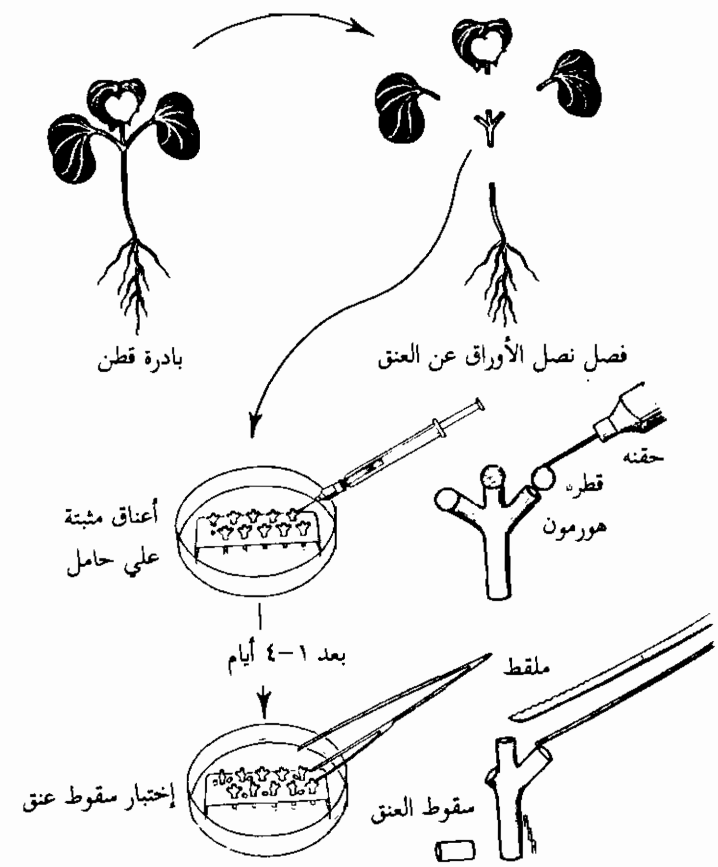
shaped cells فى قاعدة الورقة ثم تحدث تغيرات فى التحول الغذائى فى منطقة الأنفصال من شأنها اذابة جزئية لجدر الخلايا والصفيحة الوسطى ومع كبر هذه الخلايا فى الحجم تصبح الخلايا منفصلة ونتيجة لذلك نجد أن ثقل الورقة يسبب كسر فى منطقة الأنسجة الوعائية وينتج عن ذلك سقوط الأوراق.

وتتكون طبقة من خلايا الفلين عند قاعدة الورقة لحماية أنسجة النبات من إصابتها بالفطريات أو البكتريا ولتحد أيضا من فقد الماء. ونجد أن أوعية الخشب فى هذه المنطقة تسد بواسطة نتوءات وبروزات من أغشية الخلايا البارنشيمية المحيطة والتى تسمى بالتيلوزات وبذلك يسد تماما مكان سقوط الورقة.

وجد أن كثير من التجارب تثبت أن الأثيلين يسبب تثبيط تخليق الأوكسين كما أنه ينشط تحطيم الأوكسين كما أنه ينشط عملية الارتباط للأوكسين ويثبط إنتقال الأوكسين من الورقة إلى النبات حيث وجد أن تركيز الأوكسين يقل فى الأوراق المعاملة بالأثيلين. أما عن كيفية وميكانيكية حدوث هذه التأثيرات المختلفة للأثيلين على الأوكسين فهى غير معروفة. وجد أن تركيز الأثيلين يزداد فى الأوراق الفلقية لبادرة القطن خاصة فى فترة الشيخوخة وفى مرحلة سقوطها. وجد أن زيادة تركيز الأيثلين فى الأوراق الفلقية يصاحبة نقص فى إنتقال الأوكسين من الورقة الفلقية إلى السويقة الجنينية السفلى. كما وجد أن معاملة الأوراق الفلقية للقطن بالأثيلين يقلل من أنتقال الأوكسين ويسبب سقوطها حتى لو كانت مكتملة النمو والنضج وغير هرمه (شكل ١٩١) وجد أيضا أن تركيز الأثيلين فى عنق الورقة ستة أضعاف تركيزه فى نصل الورقة. أمكن تطبيق ذلك أيضا على نبات الفاصوليا ونباتات أخرى كثيرة . ومن ذلك يتضح أن الأوراق تخلق الأثيلين الذى يسبب سقوطها وجد أيضا نفس الشيئ فى سقوط البراعم الزهرية والأزهار والثمار الصغيرة وأيضا إنفتاح الثمار.

كلا من الأوكسين والأيثيلين يشتركان فى عملية سقوط الأوراق وأثناء فترة نشاط الورقة يتكون باستمرار أوكسين جديد وينتقل من نصل الورقة خلال العنق إلى الساق ولكن عندما تصبح الورقة فى حالة عجز أى شيخوخة فإن انتاج الأوكسين

وانتقاله يقل كما سبق شرحه فى الأوكسينات وهذا النقص هو علامه لكى تحدث التغيرات فى منطقة الانفصال والتى تسبب سقوط الأوراق وكما سبق القول فإن إضافة أوكسين للأوراق فى هذه الحالة سيسبب عدم سقوط الأوراق لفترة أطول عنها فى حالة عدم إضافة الأوكسين.



(شكل ١٩١) : تأثير الهورمون علي سقوط الأوراق.

تستعمل أعناق أوراق قطن في طور البادرة وتعامل بالهورمون ثم تختبر بعد عدة أيام بواسطة الضغط عليها بقوة معينة قياسية ثابتة وذلك بواسطة ملاقط خاصة.

وفى فترة الشتاء أيضا فإن تموين الأوراق بالسيتوكينين المخلق فى قمة الجذر والمنقول من الجذر يقل لانخفاض درجة الحرارة وغيرها من العوامل التى تساعد على عجز وشيخوخة الورقة. لأنه كما سبق القول أن السيتوكينين مضاد للشيخوخة فى الأوراق. وعند عجز الأوراق فإنها تنتج مواد فى خلايا الورقة تنتقل من النصل إلى قاعدة الورقة لكى تسبب عجز أنسجة العنق وتكوين التفاعلات الخاصة والتغيرات الخاصة فى منطقة الانفصال وهذه العوامل تسمى بعوامل الشيخوخة أو العوامل المسببة للشيخوخة senescence factors.

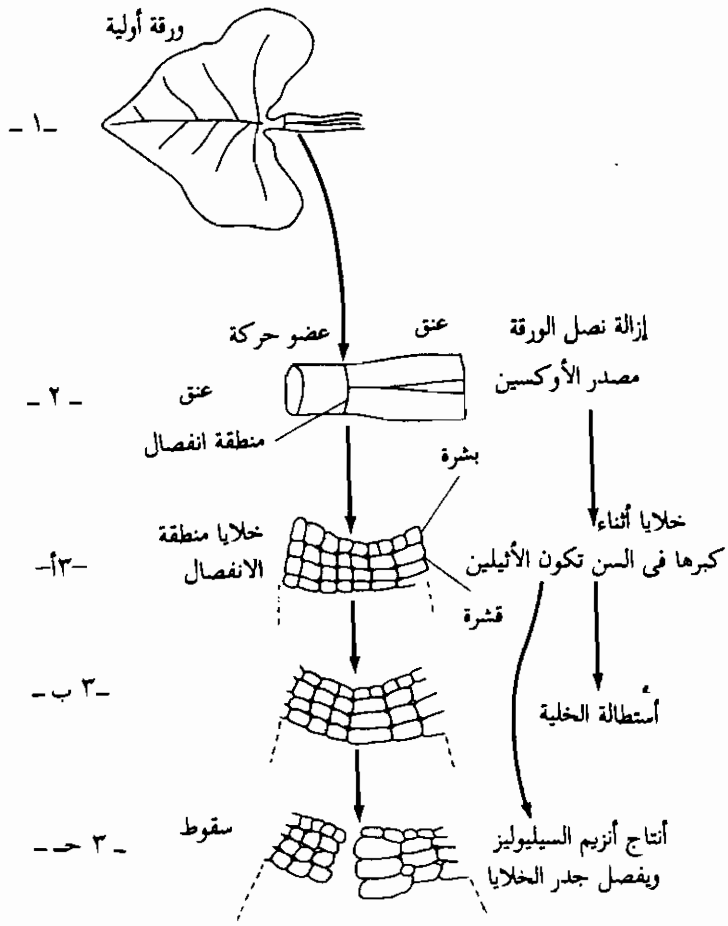
. هذه المركبات غير معروفة بالتفصيل وبعض الآراء توضح أن حامض الأبسيسيك هو أحد هذه المركبات ولكن الرأى الغالب الآن أن حامض الأبسيسيك ليس له دور كبير فى سقوط الأوراق.

يساعد الايثيلين على سقوط الأوراق فى وجود شرط هام وهو أن تكون الأوراق فى حالة بلوغ أو نضج أو شيخوخة وإلا لن يحدث السقوط أى أنه لو عوملت الأوراق أثناء تكوينها أو الأوراق الحديثة التكوين بالأيثيلين فلن تسقط.

الايثيلين هورمون يسبب سقوط الأوراق وذلك بأسراعه فى حدوث الشيخوخة لمنطقة الانفصال فأنه مسئول مباشرة عن حدوث تحلل الصفيحة الوسطى لهذه الخلايا وكبر حجمها وأيضا ذوبان الجدر الخلوية فى منطقة الانفصال فقد وجد أنه يشجع تكوين أنزيم السيليوليز بدرجة كبيرة وعلاوة على ذلك فإن غاز الأيثيلين ينظم أيضا تحرر وإنتقال هذا الأنزيم من سيتوبلازم إلى جدار الخلية، وقد وجد أ ن الأيثيلين يؤثر على هذه الخلايا فقط فى منطقة الانفصال وتكوين أنزيم السيليوليز فى هذه الخلايا فقط دون الخلايا الأخرى ولذلك فإن منطقة الانفصال من الناحية الفسيولوجية هى منطقة ذات خلايا متخصصة لأظهار تأثير الأيثيلين بوضوح عليها.

ethylene exerts its effect mainly on these cells often only one layer.

كما يسبب الأثيلين إنتفاخ الخلايا فى منطقة الانفصال فى الجزء القريب من الساق فقط وبذلك يسبب سقوط عنق الورقة (شكل ١٩٢).



(**شكل ١٩٢**) : التغير في حجم خلايا منطقة الانفصال أثناء الانفصال نتيجة لتأثير الأثيلين في ورقة الفاصوليا.

١٤ ـ حدوث Epinasty :

وجد أن الأيثيلين يحدث هذه الظاهرة فى بعض النباتات دون الأخرى ويحدث ذلك نتيجة لحدوث نمو فى الخلايا الموجودة على الجزء العلوى من عنق الورقة أو قاعدتها عنه فى خلايا الجزء السفلى ونتيجة لذلك يحدث انحناء للورقة إلى أسفل . ومن النباتات التى تظهر هذه الظاهرة عند معاملتها بالأيثيلين هى البسلة والطماطم وعباد الشمس والبطاطس. تحتاج المعاملة إلى تركيزات تتراوح بين ٠,٠١ – ٠,١ جزء فى المليون. يمكن استعمال تركيز أقل من ٠,١ جزء فى المليون فى النباتات الحساسة مثل الطماطم.

تعتبر الأوراق الصغيرة السن أكثر حساسية لتأثير الأثيلين بالمقارنة بالأوراق الكبيرة السن لنفس النبات. تظهر حالةepinasty بعد المعاملة بالأثيلين بحوالى ساعة إلى ثلاث ساعات. لا تظهر أوراق ذوات الفلقة هذه الحالة إطلاقا .

تأثير الأثيلين فى حدوث هذه الظاهرة غير واضح ولكن يعتقد أنه يسبب إختلال فى التوزيع المنتظم للأوكسين على محيط عنق الورقة وبذلك يزداد تركيز الأوكسين فى الجزء العلوى عنه فى الجزء السفلى فيحدث الأنحناء وتستخدم هذه الطريقة فى بعض النباتات لقياس تركيز الايثيلين حيث أنه كلما زاد تركيز الايثيلين كلما زادت زاوية انفراج عنق الورقة ولكن هذه الطريقة غير دقيقة ولا تستعمل الآن لوجود gas chromatography.

وجد أن بعض غازات أخرى يمكن أن تنتج هذا التأثير مثل أول أكسيد الكربون وكبريتيد الأيدروجين hydrogen sulphide والأمونيا والفورمالدهيد.

١٥ ـ أنبات البذور:

تسبب المعاملة بالأثيلين تنشيط إنبات بعض البذور والحبوب مثل الشعير وأصناف الفول السودانى ذات بذور تحتاج فترة كمون وأيضا النبات المتطفل العدار *Striga* والشليك والتفاح. وجد أن المعاملة بالجبريللين أو الكينتين فى بعض هذه البذور يسبب كسر طور السكون وسرعة الإنبات وفى جميع هذه الحالات يزداد تركيز الأثيلين نتيجة لهذه المعاملات. غير معروف كيفية حدوث ذلك.

١٦ ـ نمو براعم الدرنات أو الكورمات أو الريزومات أو الساق المداده:

تسبب المعاملة بالأثيلين فى بعض الحالات نمو البراعم فى أنواع السيقان المختلفة مثل الدرنات والكورمات والريزومات والسيقان المداده ومن أمثلة ذلك أن معاملة درنات البطاطس بالأثيلين يسبب نمو البراعم الموجودة على الدرنات. يمكن أيضاً تشجيع نمو البراعم الخضرية الساكنة بواسطة معاملتها بالأثيلين كما فى نبات الحور و*Betula*.

١٧ ـ الأفراز Secretion:

يساعد الأثيلين عملية الأدماع فى الفجل وعباد الشمس وبعض النباتات الأخرى . تساعد المعاملة بالأثيلين على تشجيع الأفرازات الصمغية خلال العديسات فى بعض النباتات مثل الخوخ والمشمش. تسبب المعاملة بالأيثيلين بطء إندمال الجروح فى سيقان أشجار المطاط وبذلك تستمر عملية إنسياب اللاتكس latex مدة طويلة.

١٨ ـ الجنس فى الزهرة Sex Expression:

لوحظ قديماً أثناء القرن التاسع عشر أن الدخان يسبب زيادة عدد الأزهار المؤنثة فى نبات الخيار. أتضح أن المركب الفعال فى الدخان هو الأثيلين. تسبب المعاملة بالأثيلين قلة عدد الأزهار المذكرة وزيادة عدد الأزهار المؤنثة وبذلك يزداد المحصول كما فى بعض النباتات مثل الخيار والقرع والعسلى و melons و ridge gourd وكلها تتبع العائلة القرعية.

وفى حالة نبات القنب أى الحشيش أى المارجوانا *Cannabis sativus* تسبب المعاملة بالأثيلين تكوين أزهار مؤنثة على النباتات المذكرة حيث أن النبات ثنائى المسكن. لا تؤثر المعاملة بالأثيلين على جنس الذكر فى نبات الذرة.

يعتقد أن الأثيلين يؤثر على نوع الجنس فى بعض النباتات دون الأخرى فقد وجد فى بعض سلالات نبات الخيار و muskmelon تكوين سلالات lines مؤنثة gynoecious lines أى تحمل أزهار مؤنثة فقط. وقد أمكن إثبات أن هذه النباتات تنتج كميات كبيرة من غاز الأثيلين بالمقارنة بالنباتات العادية ذات الأزهار المذكرة والأزهار المؤنثة. وجد أيضاً أن السلالات المؤنثة من muskmelon تتجة نحو تكوين أزهار مذكرة عند زراعتها فى ظروف بيئية ذات ضغط جوى منخفض. يسبب الضغط الجوى المنخفض نقص فى تركيز الغازات الموجودة بداخل النبات ومنها الأثيلين. وجد أن معاملة النباتات بغاز أول أكسيد الكربون يسبب قلة عدد الأزهار المؤنثة ومن المعروف أن هذا الغاز له تأثير تثبيط تنافسى على غاز الأثيلين.

١٩ ـ نفاذية الأغشية Membrane permeability:

يذوب الأثيلين فى الغشاء البلازمى وغشاء التونوبلاست ويسبب تغيير نفاذية هذا الغشاء . تسبب قابلية الأثيلين للذوبان فى الدهون بدرجة كبيرة فى نفاذيتة بسهولة خلال الغشاء البلازمى الأكتوبلاست وأيضاً التونوبلاست. يمكن أن ينتج عن ذلك تغيير فى نفاذية هذه الأغشية وأيضاً منع حالة أو تثبيط فى عضيات الخلية وفى حالة نصف حبة الشعير عديمة الجنين فإن تحرر أنزيم ألفا أميليز من طبقة الأليرون وإنتقاله إلى الأندوسبرم يكون نتيجة لزيادة نفاذية الأغشية فى خلايا الأليرون وقد وجد أن هذه الحالة تزداد عند معاملة نصف حبة الشعير بالأثيلين. وجد أن عزل الميتوكوندريا من نبات القنبيط ومعاملتها بالأثيلين تزداد فى الحجم وتنتفخ ويعزى ذلك إلى زيادة نفاذية الأغشية. أمكن إثبات ذلك أيضاً فى خلايا الخميرة وكرات الدم الحمراء.

يعتبر هذا التأثير غير متخصص بالنسبة للأثيلين حيث وجد أن غازات أخرى يمكن أن ينتج عنها نفس التأثير.

وفى حالة سقوط الأوراق فإن الأثيلين يسبب تخليق أنزيم السيليوليز كما أنه يساعد على تحرر هذا الأنزيم من سيتوبلازم خلية النبات وإنتقاله إلى الجدار ليظهر تأثيره ويكون ذلك راجع لزيادة نفاذية الأغشية فى السيتوبلازم.

وعلى العكس مما سبق فقد وجد أن الأثيلين لايؤثر نفاذية الخلايا فى البطاطس والبسلة وريو *Rhoeo*. كما أنه لا يؤثر على حالة البلزمة فى النبات الأخير أى أنه لايؤثر على النفاذية.

تعتبر النتائج متضاربة فى هذه الحالة ويلقى ذلك ظلال من الشك حول أهمية غاز الأثيلين فى نفاذية الأغشية، ولكن يمكن القول أن الأثيلين له دور فى بعض النباتات دون الأخرى.

٢٠ ـ تخليق البروتين والأنزيمات:

يساعد الأثيلين فى تخليق البروتين و mRNA. توجد مجموعة من الأنزيمات تنشط بدرجة ملحوظة فى الأنسجة المعاملة بالأثيلين مثل cellulase و protease

وألفا أميليز و كاتاليز وperoxidase وسكريز. عند معاملة الأنسجة المعاملة بالأثيلين بمركب actinomycin وcycloheximide فإنها تـؤثر على تكوين أنزيمى cellulase وperoxidase. يتضح من ذلك أن الأثيلين له دور فى تخليق هذه الأنزيمات وخاصة الأنزيمين السابقين.

٢١ - تخليق ونشاط الأوكسين:

يؤثر الأثيلين على الأوكسين فى بعض العمليات الحيوية . تسبب المعاملة بالأثيلين نقص فى تركيز الأوكسين الحر . يمكن أن يكون ذلك نتيجة لتثبيط تخليق الأوكسين أو خفض معدل إنتقال الأوكسين أى خفض سرعة إنتقاله أو يسبب ربط الأوكسين بمركبات أخرى ويصبح أوكسين مقيد أو مرتبط.

يقلل الأثيلين من سرعة الأنتقال الجانبى للأوكسين أثناء الأنتحاء الضوئى والأنتحاء الأرضى .

٢٢ - إلتفاف المحاليق:

قد يلتف المحلاق حول الدعامة كما فى العنب والبسلة وقد يكون المحلاق فى قمته وسادة لاصقة لتلتصق الوسادة بالدعامة أو الجدار كما فى نبات *Parthenocissus tricuspidata*. وجد أن الأوكسين والأثيلين ينظمان التغير فى حجم الخلايا فى المحلاق والتى ينتج عنها الأنحناء والألتفاف. وجد أن المحاليق المقطوعة والنامية على محلول خاص تلتف على نفسها فى عدم وجود الدعامة عند معاملتها بأوكسين أندول حامض الخليك ومن أمثلة هذه المحاليق البسلة وكثير من النباتات الأخرى كما وجد أيضا أن معاملة المحلاق بأندول حامض الخليك تسبب تكوين الوسادة اللاصقة فى نبات *Parthenocissus* (شكل ٢٥). وجد أن الأوكسين ينشط تخليق الأثيلين فى المحلاق ولكن تخليق الأثيلين فى الجزء من المحلاق المواجة للدعامة يكون أضعاف تخليق الأثيلين فى الجزء من المحلاق البعيد عن الدعامة، وحيث أن الأثيلين فى حالات كثيرة يسبب رشح الأغشية ومنها غشاء

التونوبلاست معنى الرشح فى هذه الحالة هو إختلال فى نفاذية الغشاء فإنه ينتج عن ذلك إنتقال بعض محتويات الفجوة العصارية إلى السيتوبلازم وينتج عن ذلك إنكماش للخلايا فى الجزء المواجة للدعامة ونتيجة لذلك يحدث الألتفاف نتيجة للأختلاف فى سرعة نمو الجانب المواجه للدعامة والجانب البعيد عن الدعامة.

ميكانيكية تأثير الأثيلين على النبات:

تأثير الأثيلين عام كثير من العمليات الحيوية وأيضاً على كثير من الأنسجة والأعضاء ولذلك من المستحيل معرفة ميكانيكية تأثير الأثيلين فى جميع هذه الحالات. وفيما يلى وصف لبعض المحاولات التى أجريت للتعرف على ميكانيكية تأثير الأثيلين على النبات.

١ ـ أستخدام مضادات الأثيلين:

توجد بعض مركبات يمكن أن تعمل كمضادات للأثيلين ethylene antagonists مثل التركيز المرتفع من ثانى أكسيد الكربون وأيضاً الفضه.

أ ـ تركيز ثانى أكسيد الكربون: وجد أن التركيز العالى من ثانى أكسيد الكربون بين ٥ إلى ١٠ ٪ يمنع أو يقلل أو يؤخر تأثير الأثيلين على النبات. ومن الجدير بالذكر أن التركيز العالى من ثانى أكسيد الكربون لا يعتبر مضاد للأثيلين فى جميع الحالات حيث أنه يكون فعال فقط فى التركيزات المنخفضة من الأثيلين ولكن فى التركيزات المرتفعة وعندما يقترب تركيز الأثيلين من ١ ميكرولتر لكل لتر أو يزيد يقل تأثيرة. ولذلك لا يعتبر ثانى أكسيد الكربون مضاد طبيعى للأثيلين إلا فى الحالات التى يتجمع فيها فى المسافات البينية بين الخلايا وبتركيزات كبيرة وذلك كما هو الحال فى بعض الثمار. يستخدم التركيز العالى نسبيا من ثانى أكسيد الكربون فى زيادة مدة تخزين بعض الثمار حيث أنه يوخر من نضج هذه الثمار الناتج عن تأثير الأثيلين . وغير معروف حتى الآن ميكانيكية تأثير ثانى أكسيد الكربون على الأثيلين فى هذه الحالة ويعتقد أنها حالة تثبيط تنافسى لتأثير الأثيلين.

ب ـ الفضة: وجد أن رش المجموع الخضرى بواسطة نترات الفضة يمنع حدوث كثير من تأثيرات الأثيلين على النبات مثل تثبيط النمو والشيخوخة وتغيير الجنس. تعتبر الفضة أكثر فاعليه فى تثبيط الأثيلين بالمقارنة بثانى أكسد الكربون وعند أستعمال تركيزات مناسبة من مركب الفضة فإن تأثير أيون الفضة على تضاد الأثيلين يكون متخصص ومستديم وغير سام للنبات، ولا يوجد أى معدن له هذه الخواص . أما عن ميكانيكية تأثير الفضة على الأثيلين فهى غير معروفة الآن.

٢ ـ العلاقة بين تركيزات الأثيلين والأستجابة للتأثير

.Dose-response relationships

وجد أن تركيزات الأثيلين اللأزمة للعمليات الحيوية فى النبات تتراوح بين ٠,٠١ إلى ٠,٢ ميكرولتر لكل لتر وأن التركيز ١٠ ميكرولتر لكل لتر يعتبر تركيز تشبعى saturating dose أى يزيد عن تركيز النهاية العظمى. وعند الأخذ بهذه التركيزات يجب توحيد زمن التعريض للأثيلين وظروف المعاملات الأخرى والظروف البيئية أى أنه يمكن أن تتغير هذه التركيزات نتيجة لأختلاف العوامل السابقة ومن أمثلة ذلك أن معاملة أزهار القرنفل بتركيز من الأثيلين ٠,٢ ميكرولتر لكل لتر لمدة ستة ساعات لم يكن لها أى تأثير على الأزهار بينما نفس التركيز لمدة يوم كامل يسبب شيخوخة للأزهار.

وجد أن تأثير التركيزات المختلفة على العمليات الحيوية التى تتأثر بالأثيلين فى النباتات المختلفة تكون تقريباً متماثلة ومتساوية ويدل ذلك على أن تأثير الأثيلين على العمليات الحيوية المختلفة يكون له ميكانيكية أساسية واحدة basic mechanism أى يوجد تفاعل معين رئيسى مشترك فى جميع الحالات ثم تحدث بعد ذلك تفاعلات فرعية خاصة بكل عملية أو تأثير.

ـ دراسات عن العلاقة بين التركيب الجزيئي للأثيلين ونشاطه

:Structure activity studies

وجد أن المركبات المماثلة للأثيلين فى نشاطها لابد وأن تتميز بوجود روابط مزدوجة أى تكون غيره مشبعة وثانياً أن الروابط المزدوجة تكون أكثر فاعلية فى نشاط المركب بالمقارنة بالروابط الثلاثية وثالثاً يحتاج النشاط إلى وجود ذرة كربون طرفية ملاصقة لرابطة غير مشبعة ورابعاً أن نشاط المركب يتناسب عكسياً مع حجمه وخامساً أستبدال ذرات المركب بذرات أخر مثل الهالوجينات والتى تسبب خفض كثافة الألكترون electron density فى مكان عدم التشبع يسبب خفض كفاءة ونشاط المركب. وحيث أن الخواص والمواصفات المذكورة سابقاً تتوفر فى الأولفينات المرتبطة بالمعادن ولذلك يعتقد أن أماكن أستقباله فى النبات تحتوى على معدن. يعتقد أن النحاس هو أحد هذه المعادن ولكن حتى الآن الأدلة على ذلك غير كافية.

٤ ـ نوع تأثير الأثيلين Ethylene action model :

يتميز تأثير الأثيلين بأنه عكسى reversible فى كثير من العمليات ولذلك يعتقد أن الأثيلين يرتبط فى الخلية بمعدن وأيضاً عكسياً reversible binding to a metal وأنه لأستقبال المعدن للأثيلين لابد من ظروف هوائية أى توفر الأوكسجين الجوى.حيث أنه فى ظروف لا هوائية أو فى تركيز منخفض من الأوكسجين يصبح الأثيلين غير فعال.

٥ ـ إستعمال أثيلين مشع به ديوتيريم Deuterated ethylene :

يستخدم الأثيلين المشع للتعرف على التغيرات التى تحدث عند موقع إستقبال الأثيلين ethylene receptor فى الخلية.عند تكوين الأثيلين مركب معدنى أثيلينى قابل للعكس reversible metal complex أى يرتبط الأثيلين بذرة معدن فإن الرابطة المزدوجة فى الأثيلين يحدث لها دوران double bond rotation وبذلك يمكن الكشف عن تنشيط المستقبل receptor activation بسهولة نسبياً، ولشرح كيفية

تحقيق الحالة السابقة فإنه يتم معاملة بادرة البسلة بأثيلين مشع *cis*-dideuteroethylene وبعد عدة أيام يتم الكشف عن الغاز ويتم الكشف على وجه الخصوص على المشابه ترانس *trans* isomer ويمكن أيضاً الكشف عن أمكانية أحلال الأيدروجين فى الأيثيلين بذرة أخرى أو شق الرابطة بين الكربون والأيدروجين carbon to hydrogen bond splitting وذلك بإستخدام أثيلين مشع tetradeuteroethylene ($C_2 D_4$) ومعاملة النبات به ثم الكشف عن الغاز فى صورة غازية محوره وأهمها المركبات $C_2 HD_3$، $C_2 H_2 D_2$ أو $C_2 H_3 D$، وبالكشف عن الأثيلين الموجود فى النبات فأنه لم يمكن العثور على أى من المركبات الثلاثة السابقة. كما وجد أيضاً أن نشاط كلا المركبين $C_2 H_4$ و $C_2 H_2$ متساو ومتماثل تماماً أى أن ذرات الديوتيريم لم تؤثر ولم تغير من تنشيط أماكن الأستقبال. ومما سبق يتضح أن أستعمال المركب المشع لم يغير نشاط الأثيلين الغير مشع أى أن كلاهما له نفس التأثير ومن ذلك يمكن إستنتاج أن شق الروابط أو التحول الغذائى للأثيلين لا يحدث أثناء ميكانيكية التأثير للأثيلين.

٦ - التحول الغذائي للأثيلين Ethylene metabolism:

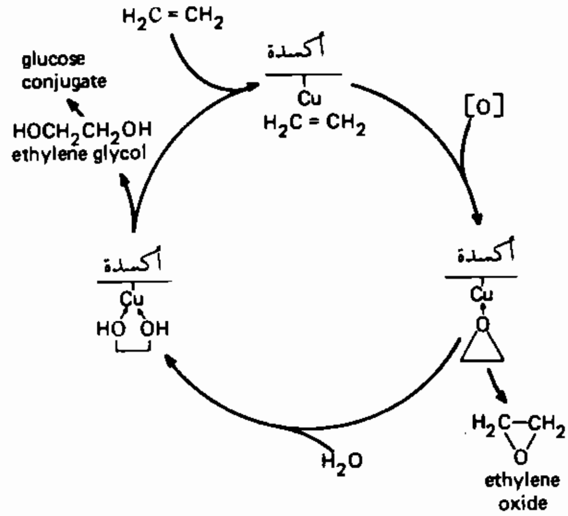
وجد فى بعض التجارب أنه يمكن أدخال الأثيلين المشع بواسطة الأيدروجين أو الكربون فى تفاعلات فى الثمار والأنسجة الخضرية. وجد أن هذه الدراسات غير مقنعة حيث أنه أستعمل فيها إثيلين غير نقى لم يجرى التأكد من درجة نقائه وأيضاً لم يتلافى فى هذه التجارب أحتمالات التلوث بالكائنات الحية الدقيقة وجميع هذه العوامل تؤثر على النتائج، ونتيجة لذلك ونتيجة لما تم إثباته فى رقم ٥ أى الجزء السابق فقد أمكن إستنتاج أن الأثيلين خامل من ناحية التحول الغذائى للنبات ethylene was metabolically inert in plants ولكن وجد عكس ذلك فى حالات أخرى كما سيلى فى الجزء التالى.

بعض مواصفات التحول الغذائي للأثيلين:

General features of ethylene metabolism

أمكن بأستعمال أثيلين مشع (ك١٤) نقى تماماً وفى ظروف تعقيم تامة أثبات أن الأثيلين يحدث له تحول غذائى داخل النبات وأنه لا يعتبر خامل كما سبق القول.

يتحول الأثيلين فى بادرات البسلة النامية فى الظلام إلى ثانى أكسيد الكربون وأكسيد الأثيلين ethylene oxide . وجد أيضاً أن الأثيلين يتحول إلى عديد من نواتج التحول الغذائى metabolites الذائبة ومنها جليكول الأثيلين ethylene glycol وأيضاً المرتبط conjugate جلوكوز الأثيلين glucose conjugate (شكل ١٩٣).



(**شكل ١٩٣**) : التحول البيولوجى للأثيلين إلى أوكسيد الأثيلين وجليكول الأثيلين والأثيلين المرتبط بالجلوكوز.

وجد أن الحرارة العالية والظروف اللاأهوائية ومثبطات التحول الغذائى تثبط التحول الغذائى للأثيلين أو توقفه تماماً. يتضح من ذلك أن التحول الغذائى للأثيلين يحدث طبيعياً فى أنسجة النبات.

بعد عمل دراسات كثيرة بأستخدام أنسجة نباتية لكثير من النباتات مثل ثمار الطماطم وأزهار القرنفل وفلقات الفول ومنطقة الأنفصال فى فلقات القطن أمكن إستنتاج ما يأتى:

١ ـ تختلف سرعة التحول الغذائى للأثيلين بدرجة كبيرة فى الأنسجة المختلفة . وجد أن أعلى سرعة للتحول الغذائى للأثيلين فى فلقات الفول.

٢ ـ تعتبر خطوات التحول الغذائى للأثيلين متماثلة تماماً فى أنسجة النباتات المختبرة وأن نواتج التحول الغذائى الإبتدائية للأثيلين عبارة عن مركبات بسيطة مؤكسدة وهى ثانى أكسيد الكربون وأوكسيد الأثيلين وجليكول الأثيلين.

٣ ـ تختلف سرعة خطوات التحول الغذائى للأثيلين أثناء مراحل النمو المختلفة للنبات.

٤ ـ تتوقف سرعة تحول الأثيلين إلى ثانى أوكسيد الكربون وأوكسيد الأثيلين على نوع النسيج النباتى وأيضاً على الزمن.

٥ ـ تختلف نواتج التحول الغذائى بإختلاف الزمن ونوع النسيج أو النبات حيث وجد أن الناتج بعد ستة ساعات من المعاملة بالأثيلين المشع هو ثانى أكسيد الكربون وذلك فى قمة السويقة الجنينية للبسلة بينما بعد يوم كامل يكون أكسيد الأثيلين أما فى حالة الفول فأن الناتج الغازى الوحيد هو أوكسيد الأثيلين بينما فى حالة منطقة إنفصال فلقة القطن وزهرة morning glory يكون الناتج الغازى الوحيد هو ثانى أكسيد الكربون (جدول ١٢). أهمية هذه الأختلافات فى نوع الغازات المتكونة فى أجزاء النباتات المختلفة غير معروفة.

(جدول ١٢) : درجة تحويل الأثيلين إلى ثانى أوكسيد الكربون وأوكسيد الأثيلين فى أنسجة نباتات مختلفة

النسيج	زمن التعريض بالساعات	ثانى أكسيد الكربون (٪)	أوكسيد الأيثلين (٪)
قمة السويقة الجنينية العليا فى البسلة	٦	٩٠	١٠
	٢٤	٤٠	٦٠
فلقات الفول	٦	صفر	١٠٠
	٢٤	صفر	١٠٠
أزهار morning glory	٦	٩٨	صفر
	٢٤	٩٩	صفر
مناطق الأنفصال فى فلقات القطن	٦	١٠٠	صفر
	٢٤	١٠٠	صفر

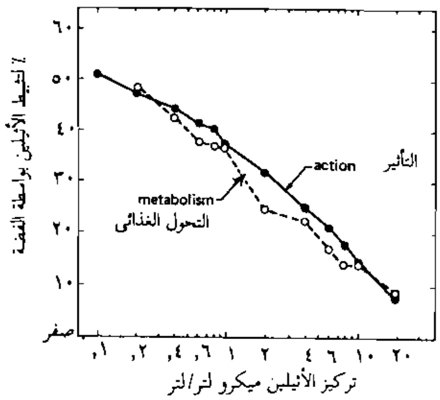
يعتبر أنزيم الأوكسيجينيز oxygenase له دور فى تحويل الأثيلين إلى أوكسيد الأثيلين حيث أن هذا التفاعل يحتاج إلى الأوكسيجين و حيث أن معاملة فلقة الفول بأوكسجين مشع (أ^{١٨}$_{٢}$) ينتج عنها أوكسيد الأثيلين المشع.

التأثير الفسيولوجى للتحول الغذائى للأثيلين:

Physiological role of ethylene metabolism

تختلف الآراء حول التأثير الفسيولوجى للتحول الغذائى للأثيلين حيث يعتبر البعض أن ذلك يسبب تنظيم تركيز الأثيلين فى الأنسجة حيث أن التحول الغذائى يقلل أو يوقف نشاط الأثيلين لتحوله إلى مركبات أخرى وبذلك يقل تركيزه.

وبذلك يعتبر التحول الغذائى صمام أمن لتركيز الأثيلين فى الأنسجة النباتية خاصة وان كمية الأثيلين المحولة غذائياً تكون قليلة عادة، وتوجد آراء أخرى تثبت أن عملية التحول الغذائى للأثيلين هى جزء من ميكانيكية تأثير الأثيلين على النبات ومما يعضد هذا الرأى أن تثبيط كل من التحول الغذائى للأثيلين وتأثير الأثيلين على النسيج متلازمان تماماً حيث أن أستعمال أيون الفضه يثبط كلاهما تماماً وتكون سرعة التثبيط بينهما متماثلة تماماً عندما يزيد تركيز الأثيلين من ٠,٢ إلى ٢٠ ميكرولتر لكل لتر (شكل ١٩٤).



(شكل ١٩٤): تثبيط تأثير الأثيلين وأيضا التحول الغذائى للأثيلين بواسطة أيون الفضة.

قيد وألتصاق الأثيلين Ethylene binding:

وجد أن الأثيلين يتجمع فى تجمعات داخل الخلية ويسمى هذا التجمع compartmentation . وللتمييز بين الأثيلين الحرفى الخلية أو النسيج وبين الأثيلين المقيد bound فإن الأثيلين الحر يمكن إزالته أو التخلص منه من النسيج بتهوية النسيج أما الأثيلين المقيد فلا يتأثر بتهوية النسيج وأن معدل إنفصال الأثيلين dissociation من مكان القيد binding site يكون منخفض جداً . أتضح أن أماكن القيد تكون مصاحبة وملازمه للشبكة الأندوبلازمية أو جهاز جولجى وأمكن التعرف على ذلك بإستعمال أجزاء من خلايا الفاصوليا وأيضاً *Phaseolus aurens* .

تتحمل أماكن القيد درجة الحرارة العالية ولكنها تفسد عند أستعمال أنزيمات محللة للبروتين نقية نسبياً ولذلك يعتقد أن أماكن القيد تكون مدفونه فى الأغشية الخاصة بالشبكة الأندوبلازمية أو بجهاز جولجى . وجد أيضاً أن بعض الجواهر الكشافة للبروتين protein reactive reagents تثبط عملية قيد الأثيلين بينما بعض الكاتيونات والهورمونات النباتية لاتؤثر على عملية القيد.

وجد أن مناطق تقييد الأثيلين لها جاذبية affinity عاليا للأثيلين وأيضاً متخصصة فى جذب الأثيلين وأيضاً تظهر حركيات التشبع saturation kinetics، ووجد أن K_D لمواقع القيد هى حوالى ٠,١ ميكرولتر لكل لتر. يعتبر ذلك هو التركيز اللازم لشغل نصف أماكن القيد كما وجد أنه يماثل تماماً نصف تركيز النهاية العظمى للأثيلين half-maximal concentration اللازمه لحدوث كثير من تأثيرات الأثيلين على النبات. كما وجد أيضاً إرتباط وتوافق بين المركبات التى يمكن أن تحل محل الأثيلين فى تأثيره ethylene analogs حيث أنها أيضاً تتنافس مع الأثيلين على هذه الأماكن لتقوم بعمل وتأثير الأثيلين (جدول ١٣).

وجد أن الجاذبية affinity والتخصص فى مكان القيد للأثيلين ينظم تركيز الأثيلين فى داخل النبات أو يمكن أن يكون مكان حقيقى لأستقبال الهورمون hormone-receptor site . يعضد الرأى الأول أن فلقات الفاصوليا تقيد كمية من

الأثيلين وتكون مصدر ملائم مستمر لمد العضو بالأثيلين لمدة مائتين ساعة على الأقل وحيث يتحرر الأثيلين من مكان القيد. ولكن السؤال فى هذه الحالة هل الكمية التى يتم تخليقها داخل العضو مساوية لكمية الأثيلين الخارجة من النسيج أو العضو أو غير متساوية ولذلك يلزم كمية من الأثيلين المحرر. حتى الآن الأجابة على هذا السؤال غير واضحة.

(جدول ١٣) : نشاط المركبات المشابهة لنشاط الأثيلين وأيضاً درجة منع التقييد فى أماكن القيد.

المركب	التركيب	(١) النشاط النسبي	(٢) درجات تثبيط القيد النسبية
Ethylene	CH2 = CH2	١	١
Propylene	CH3CH=CH2	١٠٠	١٢٨
Vinyl chloride	CH2=CHC1	١٤٠٠	٤٦٦
Carbon monoxide	CO	٢٧٠٠	١٠٦٨
Acetylene	CH≡CH	٢٨٠٠	١٠١٣
Vinyl fluoride	CH2=CHF	٤٣٠٠	١١٣٩
Propyne	CH3C≡CH	٨٠٠٠	٢٦٥١
Vinyl methyl ether	CH2=CH-O-CH3	١٠٠٠٠٠	١٣٦١٩٦
1-Butene	CH3CH2CH=CH2	٢٧٠٠٠٠	٦٠١٢٢٧
Carbon dioxide	CO2	٣٠٠٠٠٠	١٤١١٠٤

(١) يقدر النشاط النسبى على أساس التركيز النسبى لتثبيط نمو ساق البسلة.

(٢) تقدير نسبى لتثبيط القيد.

استعمال الأثيلين فى Horticulture وغيرها من الاستعمالات الاقتصادية

نقل الموز وهو أخضر يكون أقل تأثر بضرر الاحتكاك من الموز الناضج ولذلك يفضل نقل الموز الأخضر ثم فى أماكن الوصول يعامل بالأثيلين لينضج.

كانت من الحالات المحددة لاستعمال الايثلين فى الاغراض الاقتصادية أنه موجود فى الحالة الغازية وبذلك يحتاج إلى حيز مغلق لكى يستعمل ولكن حديثاً أمكن عمل مركبات عديدة يدخل فى تركيبها الاثيلين ثم تعامل بها النباتات حيث يتحرر منها الاثيلين بعد المعاملة وأحد وأول هذه المركبات هو المركب المعروف باسمethrel يعرف أيضاً باسم ethephon وتركيبة عبارة ٢ ـ كلوروايثايل فوسفونك أسيد 2-chloroethyl phosphonic acid وقد وجد أن هذا المركب يستعمل كمحلول مائى بتركيز ١٠٠ ـ ٥٠٠٠ جزء فى المليون ويحدث تحرر للأثيلين فى pH أعلى من ٤ . فبعد أمتصاص هذا المركب فى خلايا النبات وتكون درجة pH النبات أعلى من ٤ يتم التفاعل كما يلى وحيث يتحرر غازى الأثيلين والكلور وينتج حامض الفوسفونك.

$$cl - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - OH \xrightarrow{PH>4} CH_2 = CH_2 + Cl^- + \underset{\displaystyle O_-}{\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{\underset{|}{P}}}} - (OH)_2$$

أمكن تسجيل سلامة أستعمال الأثريل على ما يزيد على عشرون محصول حتى الآن.

استعمالات مركب Ethrel :

١ ـ عند جرح أشجار المطاط لأخذ سائل المطاط فأنه يحدث التئام للجرح بسرعة كبيرة نسبياً فنحتاج لعمل جروح أخرى ولكن وجد أن المعاملة بهذا المركبethrel تؤخر من حدوث عملية الالتئام ولذلك فأنها تنتج سائل المطاط بكمية أكبر وجروح أقل.

٢ ـ تكوين ثمار متجانسة من حيث اللون وأيضاً تجانس وتوحيد موعد النضج

وبذلك تسهل عملية الجمع الالى فى وقت واحد ومثال ذلك نبات الطماطم حيث يعامل بـ ٢٥٠ جزء فى المليون منethrel فيعطى لون متجانس مرغوب ونفس ميعاد النضج.

٣ ـ سرعة سقوط الثمار بواسطة هذا المركب ليسهل عملية الجمع الآلى فى العنب والكريز والموالح وأيضاً القطن وفى الحالة الأخيرة يساعد أيضاً على تفتح اللوز.

٤ ـ يزيد هذا المركب من انتاج الأزهار المؤنثة فى نباتات القرعيات وبالتالى يزيد المحصول فى الخيار والقرع والبطيخ.

٥ ـ يسرع من شيخوخة أوراق نبات التبغ وتعتبر صفة مرغوبه لمزارعى التبغ.

٦ ـ تشجيع انتاج الازهار وتوحيد موعد النضج فى نبات الاناناس.

٧ ـ زيادة نسبة السكر فى نبات قصب السكر.

٨ ـ يساعد فى نضج كثير من الثمار مثل الطماطم والتفاح وحبات البن coffee berries والعنب يساعد فى تلوين التفاح.

ومن أهم تأثيرات واستعمالات الإثيفون فى محاصيل الخضر مايلى :

١ـ تحدث المعاملة بالإثيفون تقزماً دائماً أو مؤقتاً لفترات مختلفة فى النباتات المعاملة، ويتوقف ذلك على المحصول، والتركيز المستخدم، ومرحلة النمو التى تجرى فيها المعاملة، فيقل النمو الخضرى فى العديد من الخضروات عند رشها بالإثيفون بتركيز ١٢٥–١٠٠٠ جزء فى المليون، كما يحدث ذلك أيضا فى الذرة السكرية، والفاصوليا الخضراء، والباذنجان، والبسلة، والفلفل، والطماطم وغيرهم.

٢ـ يسرع الإثيفون من تكوين طبقة الإنفصال فى الأوراق والثمار، وينظم تكوينها فى الإزهار والثمار غير العاقدة، وبذلك فهو يفيد فى إجراء عملية الخف.

٣ـ يؤدى غمس جذور البطاطا المستعملة فى زراعة المشاتل فى محلول الإثيفون

بتركيز ٤٠٠٠ جزء فى المليون لمدة ١٥ دقيقة قبل زراعتها إلى إحداث زيادة جوهرية فى عدد الشتلات المنتجة منها.

٤ ـ يؤدى نقع بذور الشليك الساكنة فى محلول إثيفون بتركيز ١٠٠٠، ٢٥٠٠، ٥٠٠٠ جزء فى المليون لمدة ٢٤ ساعة إلى إنباتها بنسبة ٣٠، ٥٠، ٩٠٪ على التوالى وذلك بالمقارنة بإنبات قدرة ٢٠٪ فى البذور غير المعاملة.

٥ ـ يؤدى رش البصل بالإثيفون بتركيز ٥٠٠ ـ ١٠٠٠٠ جزء فى المليون وهو فى طور الورقة الحقيقية الرابعة حتى الخامسة، مع تكرار الرش أسبوعياً لمدة ٣–٥ أسابيع إلى إسراع تكوين الأبصال وزيادة معدلات تكوينها وإسراع نضجها.

٦ ـ تؤدى معاملة درنات البطاطس المستعملة كتقاوٍ بالإثيفون بغمرها لمدة دقيقتين فى محلول تركيزه ١٠–٢٥ جزءاً فى المليون، أو رش النموات الخضرية عدة رشات بتركيز ٢٥–٢٢٥ جزء فى المليون مع بداية النمو الخضرى حتى الإزهار إلى زيادة عدد الدرنات المتكونة، وصغر حجمها، دون التأثير على المحصول الكلى. وتفيد هذه المعاملة عند الرغبة فى إنتاج حجم صغير من درنات البطاطس لاستعمالها كتقاوٍ، أو فى التعليب.

٧ ـ يؤدى رش نباتات القرعيات مرة أو مرتين بالإثيفون بتركيز ١٢٥–٢٥٠ جزء فى المليون خلال مراحل نمو الورقة الحقيقية الأولى حتى الخامسة إلى إحداث زيادة جوهرية فى نسبة الأزهار المؤنثة أو الخنثى، بينما يقل ظهور الأزهار المذكرة على الـ ١٥ عقدة الأولى، وتعود النباتات لحالتها الطبيعية فى الإزهار بعد ذلك. ويتبع ذلك زيادة المحصول المبكر والكلى، خاصة فى بعض أصناف الخيار والكوسة.

٨ ـ أفادت المعاملة الإثيفون فى التخلص نهائياً من مرض فسيولوجى يظهر فى البطاطس، ويسمى التبقع البنى الداخلى Internal Brown Spot، أو Chocolate Spot، وذلك بمعاملة النباتات بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون بعد موعد الزراعة بخمسة أسابيع، مع تكرار الرش أربع مرات بعد ذلك كل أسبوعين. وقد أدى الرش

مرة واحدة بتركيز ٢٠٠–٦٠٠ جزء فى المليون إلى مكافحة هذا المرض الفسيولوجى بنسبة ٩٨ ـ ٩٩٪.

٩ ـ يستخدم الإثيفون فى إسراع نضج ثمار الطماطم المنتجة لغرض الاستهلاك الطازج برش النبات بتركيز ٢٥٠ ـ ٥٠٠ جزء فى المليون بعد التلقيح بفترة قصيرة وحتى طور النضج الأخضر وقبل ظهور أية علامة على تلون الثمار. كما تفيد المعاملة بالإثيفون فى توحيد موعد نضج الثمار فى أصناف التصنيع، وبذلك تزيد كفاءة الحصاد الآلى الذى يتم مرة واحدة. ويجرى ذلك برش النباتات بالإثيفون بمعدل ٩٠ ـ ٥٥٠ مل للفدان، على أن يكون الرش عندما تبلغ نسبة الثمار التى بها تلوين خفيف من ١ـ ٢٥٪. ويتم الحصاد بعد نحو ٢–٣ أسابيع من المعاملة.

١٠ـ تؤدى معاملة نباتات القاوون بالإثيفون بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون. قبل أول جمعة بنحو ١–٢ يوم إلى تبكير وتركيز نضج باقى الثمار.

١١ـ تؤدى معاملة نباتات الفلفل الشيلى Chili والبيمنتو Pimiento، بالإثيفون بتركيز ٢٥٠ ـ ١٢٠٠ جزء فى المليون رشاً على النباتات عندما تبدأ الثمار فى التلون باللون الأحمر المخضر أو بعد أول حصاد للثمار الحمراء بفترة قصيرة إلى التبكير فى التلون وزيادة محصول الثمار فى حالة إجراء الحصاد مرة واحد. ويؤدى الرش بتركيز ١٢٠٠ جزء فى المليون إلى سقوط بعض الأوراق والثمار مبكراً. ومن جهة أخرى يؤدى غمس ثمار الفلفل البيمنتو الخضراء الناضجة فى محلول إثيفون بتركيز ١٠٠٠ ـ ٥٠٠٠ جزء فى المليون بعد الحصاد إلى تلون الثمار بلون أحمر متجانس.

١٢ـ يستعمل الإثيفون فى سقوط الأوراق من نباتات الفاصوليا قبل الحصاد برشها بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون قبل الحصاد بنحو ٣–٥ أيام. ولهذه المعاملة أهمية خاصة فى الحالات التى يكون فيها النمو الخضرى غزيراً.

١٣ـ يمكن إسقاط أزهار الطماطم عند الرغبة فى ذلك برش النباتات بالإثيفون بتركيز ١٠٠–٥٠٠ جزء فى المليون.

مركب Etacelasil:

يعتبر etacelasil مركب يتحرر منه الأثيلين ويسبب سقوط ثمار الزيتون وبذلك يسهل جمع الثمار. يرش قبل الجمع من ٦ إلى ١٠ أيام. يباع تجاريا تحت أسم Alsol. تركيبه الكيماوى 2-chloroethyltris (2-methoxyethoxy) silane (شكل ١٩٤أ).

$$(CH_3OCH_2CH_2O)_3SiCH_2CH_2Cl$$

etacelasil

(**شكل ١٩٤ أ**) : التركيب الجزيئى للـ etacelasil

معاملات لتثبيط الأثيلين:

وجد أن بعض المعاملات والتى تسبب تثبيط الأثيلين تكون مرغوبة وخاصة أثناء النقل والتخزين لتقليل سرعة نضج الثمار ومنها التحكم فى مكونات الظروف الجوية المحيطة بالثمار مثل زيادة تركيز ثانى أوكسيد الكربون أو التخزين فى ضغط منخفض hypobaric storage وأيضاً معاملة أجزاء نباتات القرنفل المقطوعة بالفضه لزيادة مدة حياتها حيث تعيش الأزهار المقطوعة فى الفازات لمدة أطول نتيجة للمعاملة بواسطة مركب فضه هو كبريتيت الفضه $Ag\ (S_2\ O_3)2$.

يمكن فى المستقبل تخليق مركبات يمكن أستعمالها على نطاق تجارى فى تثبيط تخليق الأثيلين أى أنها مركبات عكسية فى تأثيرها عند مقارنتها بالأثريل.

الباب التاسع

مثبطات النمو

Growth Inhibitors

هى مركبات تسبب تثبيط النمو ومنها ما هو طبيعى natural مثل حامض الأبسيسيك وبعض المركبات الفينوليه مثل الكومارين coumarin وحامض الكوماريك coumaric ومنها ماهو تركيبى synthetic مثل مركب ماليك هيدرازيد maleic hydrazide ومعوقات النمو مثل سيكوسيل cycocel.

توجد مجموعة من المركبات تسبب تأخير أو عاقة لنمو النبات دون أى تأثير ضار على الشكل الظاهرى retard the overall growth of the plant without altering their morphology ولذلك فأنها تسمى معوقات النمو growth retardants و بمعنى آخر فأنها مركبات تسبب قصر الساق والفروع دون أى تأثير ضار على النبات . أما المركبات التى تسبب تأثير ضار على الأجزاء المختلفة للنبات مثل السيقان والأوراق تسمى مثبطات للنمو تعتبر معوقات النمو من مثبطات النمو.

أولاً : حامض الأبسيسيك ABA

سبق شرح هذا المركب فى أحد الأبواب السابقة (الباب السابع).

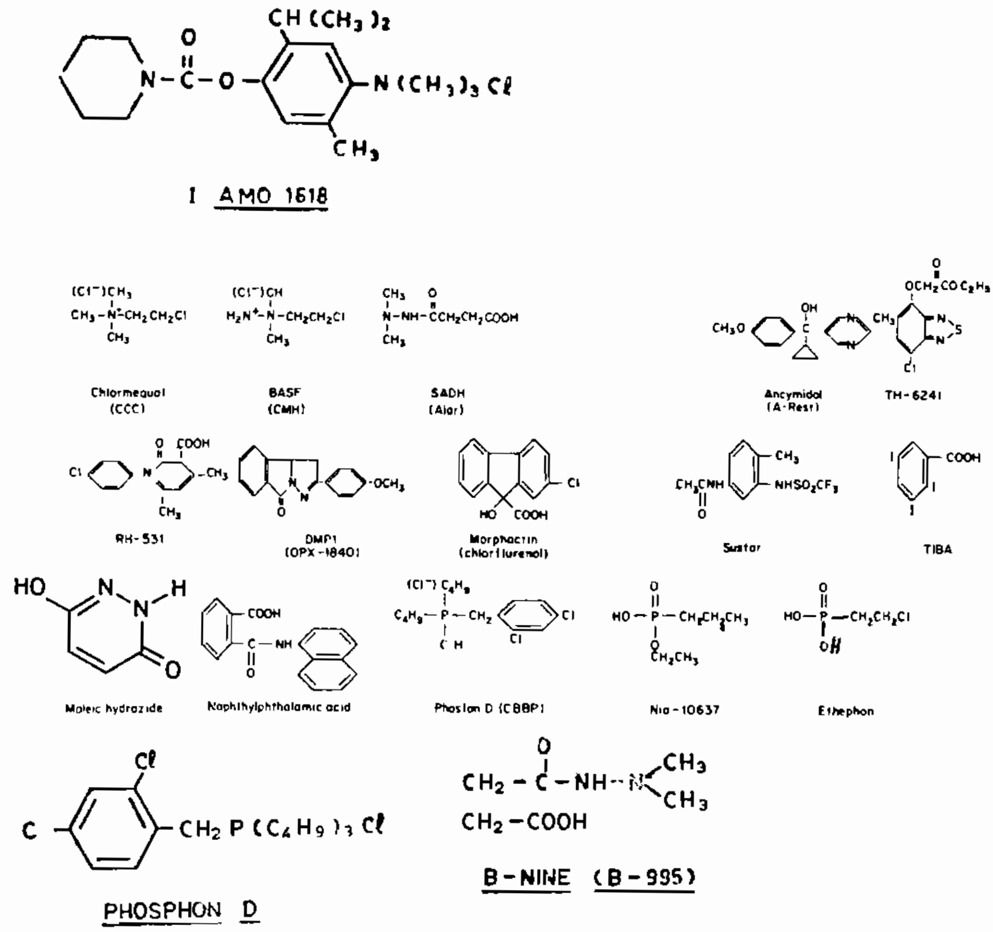
ثانياً : معوقات النمو Growth Retardants

وهى مركبات تسبب قصر الساق والفروع دون تأثير ضار على النبات عاده.بعض هذه المركبات تؤثر على تركيز وفاعلية الجبريللينات تأثير عكسى والبعض الآخر يؤثر

على تركيز وفاعلية الأوكسينات تأثير عكسى. ولكن غالبية هذه المركبات مؤثره على الجبريلينات والقليل أو النادر منها يؤثر على الأوكسينات.أحياناً يوجد تداخل فى التأثير على الجبريللينات والأوكسينات.

أ ـ مركبات مؤثرة على الجبريللينات:

هى مركبات توثر عكسيا على تركيز وفاعلية الجبريللينات وتسبب قصر الساق والفروع وقد يكون لها تأثيرات أخرى مفيدة على الثمار. ومن هذه المركبات ما يأتى (شكل ١٩٥):



(شكل ١٩٥) : التركيب الجزيئي لبعض منظمات النمـو التجارية

١ ـ **Nicotiniums**: أول مركبات تختبر على النبات كمعوقات للنمو تؤثر هذه المركبات على نمو ساق الفاصوليا حيث تسبب قصر الساق. يعتبر مركب 2,4 dichlorobenzylnicotinium chloride (2,4-DNC) هو أكثر مركبات هذه المجموعة فاعلية. حيث أن هذه المركبات لا تؤثر إلا على نبات الفاصوليا ولذلك فقد شمل البحث مركبات تكون ذات فاعلية على نباتات أخرى أى يكون لها مدى واسع من النباتات وقد نتجت المجاميع التالية وكان أول مركب ناتج هو آمو Amo-1618 فى المجموعة التالية.

٢ ـ **Quaternary Ammonium Carbamates**: ومنها مركبAmo-1618. يعتبر أول مركب أكتشف من معوقات النمو له تأثير على مدى واسع من النباتات.

٣ ـ **Phosphoniums**: ومنهاphosphon S وphosphon D .

٤ ـ **Substituted Cholines**: ومنها cycocel أى chlormequat ويرمز له بالرمز CCC. يستخدم هذا المركب بكفاءة عالية فى منع الرقاد فى بعض نباتات العائلة النجيلية.يتميز هذا المركب بأن له مدى واسع من النباتات و تركيبة (2-Chloroethyl) trimethyl ammonium chloride.

٥ ـ **Substituted Maleamic and Succinamic Acid**: ومنها مركب B-Nine (B - 95).وهو يعتبر أكثر مركبات هذه المجموعة إنتشارا. يسمى هذا المركب أيضا بإسم alar أوSADH وتركيبه 2-dimethylhydrazine و Succinic acid-2.

٦ ـ **Phenyl Pyrimidines**: ومنها ancymidol أى A-Rest وتركيبه ـ cyclopropyl- α -(4 -methoxyphenyl)-5pyrimidine methanol

٧ ـ **Chlorophenyl Pyridine**: ومنها مركب RH-531 وتركيبه 1-(4 -Chlorophenyl)-3-Carboxyl4,6-dimethyl-2-pyridine

يتضح أن المركبات السابقة تختلف فى تركيبها بدرجة كبيرة ولذلك من الصعب معرفة الصفات المميزة لفعالية هذه المركبات كمجاميع كما هو الحال فى الأوكسينات والسيتوكينينات.

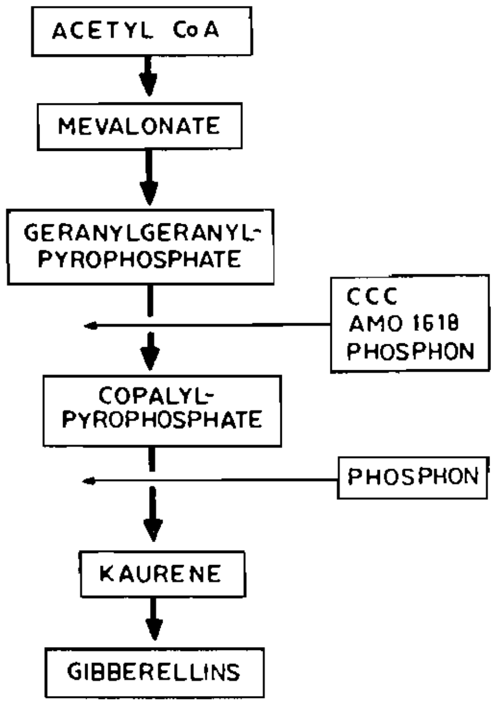
جميع هذه المركبات قابلة للذوبان فى الماء وتعامل بها الجذور soil drench أو ترش على الأوراق. يمكن أن تنتقل فى النبات عن طريق الخشب و اللحاء. تبقى فى التربة أو فى النبات لمدد تتراوح من عدة أيام إلى سنوات قليلة. يمكن أن تنتقل هذه المركبات من جيل إلى آخر عن طريق البذور.

ميكانيكية تأثير معوقات النمو المؤثرة على الجبريللينات:

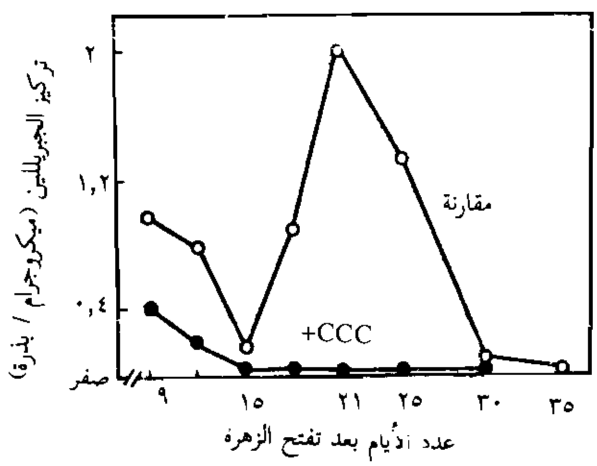
تضاد هذه المركبات عمل الجبريللينات ولذلك فإنها تسبب قصر الساق والفروع. غير معروف حتى الآن تفسير عام شامل لذلك. توجد بعض التفسيرات تؤيدها التجارب وهى كما يلى:

١ ـ تسبب هذه المركبات تثبيط تخليق الجبريللين . من المعروف أنه أثناء خطوات تخليق الجبريللين يتحول مركب geranylgeranyl pyrophosphate إلى مركب الكاورين kaurene بواسطة أنزيم kaurene synthetase . وقد أمكن إثبات أن CCC و amo-1618 وphosphon D تسبب منع حدوث هذه الخطوة blocking وينتج عن ذلك عدم تكوين الكاورين وبالتالى عدم تكوين الجبريللين (شكل ١٩٦) .يتحول geranylgeranyl pyrophosphate إلى copalyl pyrophosphate وفى هذه الخطوه يحدث blocking يتحول الأخير إلى الكاورين. يقوم إنزيم kaurene synthetase بعمل هذين التفاعلين.

وجد إن أضافة CCC و Amo-1618 إلى البيئة النامى عليها فطر فيوزاريوم *Fusarium moniliforme* تسبب تثبيط تخليق الجبريللين وتمنع تكوينه. كما وجد أيضا أن phosphon D يثبط تكوين الجبريللين فى راشح الفطر. ولكن فى حالة B-nine فإنه لم يكن له أى تأثير فى ذلك ولذلك فإن ميكانيكية عمل أو تأثير هذا المركب غير معروفة. أمكن إثبات أن بعض هذه المعوقات تثبط إنزيم kaurene synthetase المستخلص من راشح فطر *Fusarium* وأندوسبرم بذور *Echinocystis* وقد أمكن إثبات أن تأثير المعوقات يسبب نقص فى تركيز الجبريللين فى بادرات *Pharbitis* والسبانخ وغيرها (شكل ١٩٧).

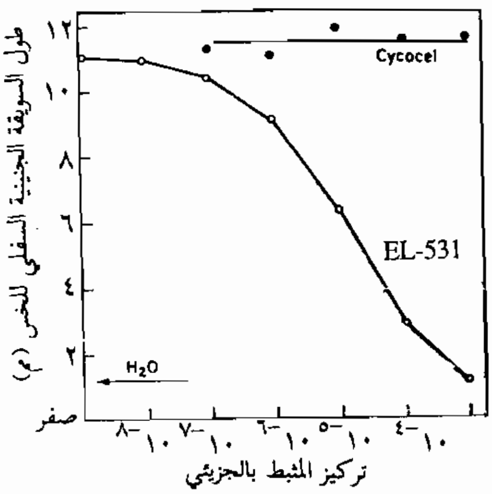


(**شكل ١٩٦**) : مكان تأثير بعض معوقات النمو على تخليق الجبرللينات.



(**شكل ١٩٧**) : تأثير CCC على تركيز الجبرللينات فى البذور الغير ناضجة لنبات *Pharbitis* .

٢ ـ بعض هذه المركبات يضاد تأثير الجبريللين interference with hormone action. بعض هذه المركبات يضاد تأثير الجبريللين على النمو antagonize gibberellin stimulated growth مثل مركب ancymidol. يثبط هذا المركب نمو السويقة الجنينية السفلى للخس بينما يفشل CCC فى عمل ذلك (شكل ١٩٨). وجد أيضا أن مركب RH-531 له نفس التأثير فى تثبيط نمو السويقة. يتضح من ذلك أن بعض هذه المركبات تؤثر على نباتات دون البعض الآخر. أى تختلف فاعليه هذه المركبات على النباتات المختلفة.



(شكل ١٩٨): تأثير معوق النمو ancymidol (EL-531) علي تثبيط نشاط الجبريللين في السويقة الجنينية السفلي لبادرة الخس وذلك في وجود ١٠ ميكروجرام جزيئي حامض الجبرلليك.

تأثيرها على النمو والتكشف:

أهم تأثير لهذه المركبات هو قصر نمو الساق والفروع ويمكن أن يكون لها تأثيرات جانبية أخرى وفيما يلى شرح ذلك :

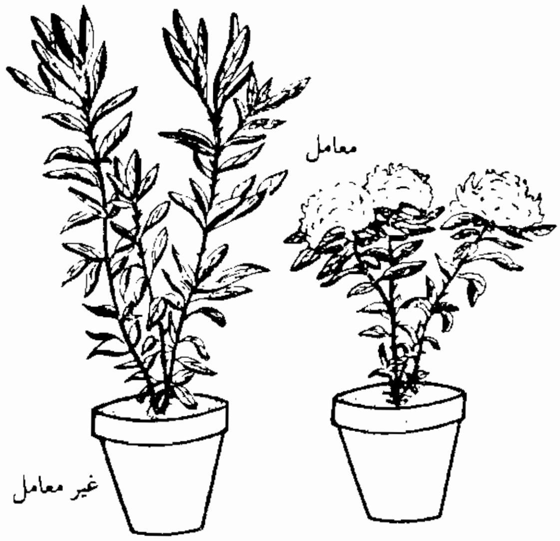
١ ـ نمو الساق Stem growth: تصبح النباتات المعاملة قصيرة وذلك لفشل إستطالة السلاميات. عامة تكون النباتات ذات الفلقتين أكثر تأثرا بالمعاملة عنها فى

النباتات ذات الفلقة. تأثير هذه المركبات على المرستيم تحت القمى sub apical meristem حيث أنها تثبط إنقسام الخلايا فى هذه المنطقة. وقد أمكن إثبات ذلك على نبات *Chrysanthemum moriflorum* بإستعمال مركب Amo1618 حيث أن هذا الجزء من المرستيم هو المسئول عن نمو السلامية ولذلك فإن النبات يأخد شكل الوردة rosette appearance. وحيث أن هذه المركبات لا تؤثر على إنقسام الخلايا فى المرستيم القمى فإن عدد وشكل الأوراق والأزهار لا يتأثر. أمكن عمل نفس التأثير بإستعمال CCC وفوسفون و B-nine. عادة يصاحب قصر النبات زيادة فى سمكه ولذلك فإنه يقاوم الرقاد lodging.

٢ ـ الأزهار Flowering: وجد أن أستعمال phosphon D و CCC و B-nine يثبط نمو الساق وينشط تكوين الأزهار فى النباتات الخشبية مثل *Rhododendron* والكاميليا *Camellia* ونباتات أخرى وحتى النباتات الصغيرة النامية فى أصص أمكن إزهارها (شكل ١٩٩). أمكن تشجيع الأزهار فى نباتات *Prunus* و*Pyrus*. وفى حالة البرايوفيلليم *Bryophyllum* فقد حدث العكس حيث أن الأزهار قد توقف تماما.

٣ ـ النسبة الجنسية Sex expression: تسبب هذه المركبات تغيير النسبة الجنسية. تؤثر معوقات النمو على النسبة الجنسية حيث يتأخر ظهور الأزهار المذكرة ويقل عددها والعكس صحيح فى الأزهار المؤنثة حيث أنها تظهر بسرعة كما يزداد عددها.

يختلف تأثير معوقات النمو بإختلاف النبات ومثال ذلك حالة نبات *Pharbitis nil* حيث أنه فى حالة قصر الساق يعتبر Amo1618 أكثرهم فاعلية يليه على التوالى phosphon D ثم B-Nine ثم CCC ولكن فى حالة تثبيط البراعم ومنع نموها فإن phosphon D أكثرهم فاعليه يليه Amo1618 ثم يليه CCC.



(**شكل ١٩٩**) : تأثير فوسفون D علي تثبيط نمو الساق وتنشيط الأزهار في نبات الراوند *Rhododendron*.

٤ ـ الشيخوخة Senescence : وجد أن معاملة أوراق الفاصوليا المنزوعة من النباتات بمركب CCC أو B-Nine تؤخر الشيخوخة حيث أنها تحتفظ بالكلوروفيل لمدة طويلة. ولذلك فإن النباتات المعاملة بهذه المركبات تظهر خضراء داكنة.

٥ ـ مقاومة نقص الماء والجفاف Resistance of water stress : يمكن أن تزيد مقاومة النبات لنقص الماء والجفاف عند إستعمال معوقات النمو فى بعض الحالات. عند معاملة نباتات القمح بـ CCC أو فوسفون فإن النباتات تستمر حية لمدة أسبوعين بعد المعاملة بينما النباتات الغير معاملة تموت نتيجة لنقص الماء والجفاف. وجد أن هذه المركبات لا تؤثر على سرعة النتح أو قفل الثغور كما أنها لا تؤثر على كمية الماء اللازمة لإنتاج وحدة من الوزن الجاف ولذلك فإن هذه المركبات لا تؤثر على أستهلاك الماء. وتعد مقاومة الجفاف فى هذه الحالة راجعة إلى قصر الساق والفروع ولذلك فإن نسبة المجموع الخضرى إلى المجموع الجذرى shoot-root ratio تقل وبالتالى يقل إستهلاك الماء وبذلك تتحمل النباتات الجفاف.

ومن أهم تأثيرات واستعمالات الآلار فى مجال الخضر مايلي:

(أ) تؤدى معاملة نباتات البطاطس بالآلار بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون إلى تقليل النمو الخضرى وتوجيه الغذاء نحو تكوين الدرنات.

(ب) تؤدى معاملة الطماطم بالآلار بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون فى المراحل المبكرة من النمو حتى الورقة الرابعة إلى زيادة نسبة العقد.

(جـ) تؤدى معاملة الكرنب بالآلار بتركيز ٦٢٥ جزء فى المليون إلى تشجيع الإزهار، وبتركيز ٦٢٥ ـ ٥٠٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة المقاومة للصقيع، وبتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون إلى منع الإزهار كلية.

(د) تشجيع تكوين الخلفات فى الفول الرومى.

(هـ) تأخير ذبول واصفرار أوراق الخس بعد الحصاد.

(و) زيادة عقد الثمار والمحصول فى الفاصوليا، كما تصبح النباتات المعاملة أقوى وأكثر اندماجاً. وأفضل وقت للمعاملة هو فى مرحلة الإزهار التام عند تفتح ٥٠٪ من الأزهار على الأقل ويجب أن تكون النباتات نامية بحالة جيدة وقت المعاملة، وأن تتراوح درجة الحرارة من ١٦-٢٥°م. وأنسب تركيز من الآلار هو ١٥ر٠٪.

(ز) تؤدى معاملة القاوون بالآلار إلى زيادة عدد الأزهار، وإنتاجها على أفرع قصيرة، فيكون النبات مندمجاً. تجرى المعاملة عندما يكون النمو الخضرى بطول ٢٠-٤٠سم. وقد يحتاج الأمر إلى معاملة ثانية عندما تكون النباتات قوية النمو. هذا وتكون المعاملة الأولى بتركيز ١ر٠٪ والثانية بتركيز ٠٥ر٠٪،

(ح) تؤدى معاملة الفلفل والباذنجان بالآلار إلى زيادة عقد الثمار والمحصول بنسبة ٢٠٪، وتجعل النباتات أقوى وأقصر. تجرى المعاملة فى مرحلة الإزهار التام عند تفتح ٥٠٪ من الأزهار بتركيز ١٥ر٠٪. ويجب أن تكون النباتات نامية بحالة جيدة وقت المعاملة، ودرجة الحرارة تتراوح من ١٦-٢٥°م.

(ط) تؤدى معاملة نباتات الكرنب بروكسل بالآلار إلى تركيز ظهور الكرينبات على مسافة من الساق أقصر مما تكون عليه الحال بدون المعاملة. وتجرى المعاملة بغرض الحصاد الآلى.

ب ـ مركبات مؤثرة على الأوكسينات

البعض يعتبر هذه المركبات معوقات للنمو ولكن الكثيرون يعتبرها مثبطات للنمو وليست معوقات للنمو حيث أن لها تأثير ضار على النموات الحديثة الخضرية والزهرية morphological abnormalities ولذلك يفضل أعتبار هذه المركبات مثبطات للنمو وليست معوقات للنمو. ولكن يعتبرها Leopold فى كتابة عام ١٩٧٥ أنها معوقات للنمو. أحيانا تكون الحدود غير واضحة بين معوقات النمو ومثبطات النمو ويكون ذلك مثار للجدل فى هذه الحالة.

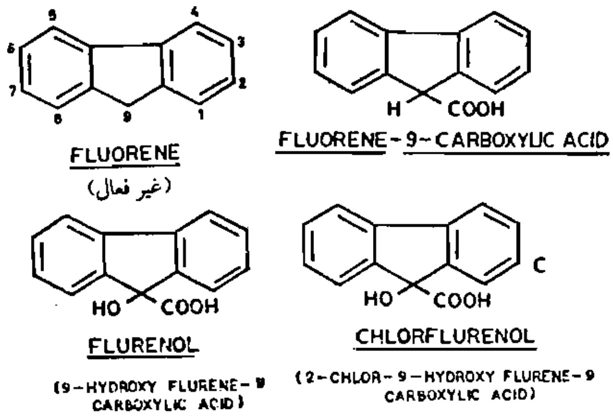
تعتبر هذه المركبات قليلة العدد وذلك بالنسبة للمركبات المؤثرة على الجبريللينات ومنهامايأتى:

١ ـ Morphactins: هى مركبات تسبب قصر الساق وبعض التغيرات الأخرى على الأوراق والبراعم والأزهار. يعتبرها البعض معوقات نمو والبعض الآخر لا يعتبرها كذلك ويعتبرها مثبطات نمو. وقد أشتق أسم هذه المركبات من الجملة الإنجليزية morphologically active substances حيث أن المقاطع هى-morph-acti-ns. وقد جربت هذه المركبات بواسطة Jones عام ١٩٥٤ثم أستعملت بعد ذلك بكثرة بواسطة العلماء الألمان عام ١٩٦٤ ومنهم Schneider (شكل ٢٠٠).

وهى عبارة عن مركبات مشتقة من مركب الفلورين fluorene وهذا المركب الأخير غير فعال . ولكن عند إدخال مجموعة كربوكسيل فى موقع الذرة رقم ٩ فى مركب الفلورين فإن المركب يصبح نشط. تزداد الفاعلية بإضافة مجموعة إيدروكسيد على نفس الذرة ويسمى flurenol. وتزداد الفاعلية مرة أخرى بإضافة ذرة كلور على ذرة الكربون رقم٢ ويسمى المركب chloroflurenol ويعتبر هذا

المركب أكثر مركبات هذه المجموعة نشاطا. وجد أيضا أن أملاح وأسترات هذا المركب تعتبر فعالة أيضا ولذلك يتضح أن مجموعة الكربوكسيل الحرة غير مؤثرة على فاعلية المركب.

وقد أفاد أستعمال الـ Chlorflurenol فى إسراع تكاثر الشليك برش التيجان ودفعها للتكاثر، كما أفادت رشة واحدة منه بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون عند تفتح أزهار العقد الأول فى الطماطم إلى تحسين العقد فى درجات الحرارة المرتفعة.



(**شكل ٢٠٠**): مركبات morphactins وهي تشتق من مركب الفلورين الغير فعال

تدخل هذه المركبات إلى داخل النباتات عن طريق الجذور والمجموع الخضرى. تنتقل فى النبات فى نسيج الخشب ونسيج اللحاء. يكون الأنتقال غير قطبى وجهازى تتجمع هذه المركبات فى الخلايا القابلة للإنقسام والأنسجة صغيرة السن. تتحمل النباتات مدى واسع من التركيزات لهذه المركبات دون ظهور أى أعراض سامة. لأنها قابلة لأن تتحلل فى النباتات ولذلك يستعيد النبات المعامل نموه العادى مره أخرى بعد فترة. تؤثر هذه المركبات على كثير من نباتات ذوات الفلقتين العشبية وقليل من ذوات الفلقة وقليل من النباتات الخشبية. لا تؤثر هذه المركبات على الأجزاء والأعضاء المسنة ولكنها تؤثر فقط على الأجزاء الحديثة.

تؤثر هذه المركبات تأثيرات عديدة على النباتات ومنها ما يأتى:

أ ـ تمنع إنبات بعض البذور مثل الخس.

ب ـ قصر الساق وذلك بتقليل طول السلاميات وأيضا قلة عددها. وهى بذلك تختلف عن معوقات النمو المؤثرة على الجبريللينات حيث أن الأخيرة تسبب قصر طول السلاميات دون قلة عددها.

حـ ـ تقلل من حدوث ظاهرة السيادة القمية حيث يحدث تثبيط للخلايا المرستيمية فى قمة الساق وينتج عن ذلك نباتات قزمية.

د ـ تؤخر الأزهار فى كثير من النباتات العشبية والخشبية.

هـ ـ تسبب تثبيط تكوين الجذور العرضية.

و ـ تفقد البادرات المعاملة بهذه المركبات حساسيتها للإنتحاء الأرضى ولذلك لا ينحنى الجذير إلى أسفل وأيضا لا تنحنى الريشة إلى أعلى ويستمر النمو أفقى . تفقد هذه البادرات أيضا حساسيتها للإنتحاء الضوئى.

ز ـ تأثيرها على النموات والأجزاء الحديثة حيث تصبح الأوراق ضيقة شريطية أنبوبيه وعادة ملتفة إلى أعلى. تتحد البراعم الأبطية أحيانا لتكون تركيب واحد. يتوقف تكوين المحاليق أحيانا. قد يحدث إلتحام بين أجزاء الزهرة وقد يحدث غياب تام لمحيط أو أكثر من محيطات الزهرة. وفى حالة عباد الشمس لا تتكون الأزهار الشعاعية والأنبوبية وتصبح النورة تركيب شحمى مشوة.

ولهذه الأسباب يعتبر الكثير هذه المركبات مثبطات نمو وليست معوقات نمو . يمكن أن يكون هذا المركب فى التركيزات المنخفضة نسبيا معوق للنمو وفى التركيزات الكبيرة نسبيا مثبط.

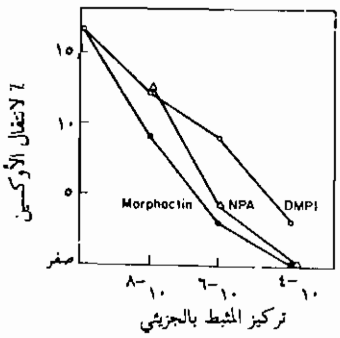
٢ ـ Naphthylphthalamic acid (شكل١٩٥).

٣ ـ DMPI أى DPX-1840 (شكل ١٩٥) وتركيبه الكيماوى.

3,3 α -Dihydro-2-(p-methoxyphenyl)-8-B-pyrazolo- 5 و 1- α isoindol-8-one

ميكانيكية تأثير معوقات النمو المؤثرة علي الأوكسينات:

وجد أن المركبات السابقة تسبب تثبيط للإنتقال القطبى للأوكسينات فى النباتات وقد أمكن إثبات ذلك على أجزاء من ساق نبات القطن طولها واحد سم ومدة التجربة هى أربعة ساعات . حيث تسبب هذه المركبات تثبيط فى إنتقال الأوكسين من أعلى إلى أسفل (شكل ٢٠١).



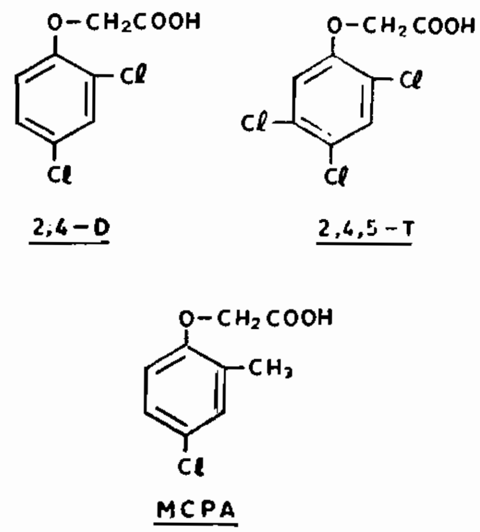
(**شكل ٢٠١**): فعالية بعض معوقات النمو في تثبيط الأنتقال القطبي للأوكسين في أجزاء ساق القطن طولها واحد سم في زمن قدره ٤ ساعات.

كما وجد أن morphactins ومركب naphthylphthalamic acid يمكن أن تلتصق على أماكن إرتباط binding sites موجودة على أغشية الخلية ومنها غشاء الأكتوبلاست. وهذه الأماكن هى أماكن إرتباط للأوكسين. ولذلك فإن هذه المركبات تتداخل فى عملية أرتباط الأوكسين بهذه الأماكن حيث أنها ترتبط بنفس الأماكن وبالتالى تمنع الأوكسين من الأرتباط بهذه الأماكن. وبذلك تتدخل فى عمل الأوكسين أو إنتقاله أو كلاهما. مما سبق يتضح أن ميكانيكية عمل هذه المركبات هى تثبيط إنتقال الأوكسين أو الإرتباط بأماكن الأرتباط الخاصة بالأوكسينات.

ثالثا : الأوكسينات

زيادة تركيز الأوكسينات يسبب تثبيط لنمو وتكوين النبات. تستعمل الأوكسينات التركيبية فى ذلك ومن أفضل الأمثلة فى ذلك هو مركب 2,4 -D حيث أنه بتركيز مناسب يستخدم فى تنشيط العمليات الحيوية فى النبات ويستخدم بكثره فى الفاكهه وغيرها. ولكن بتركيز كبير نسبيا يعتبر قاتل للنبات ومبيد للحشائش . ومنها أيضا مركب 2,4,5-T ومركب MCPA (شكل ٢٠٢). الأوكسينات المستعملة كمبيدات حشائش تتبع هذه المجموعة.

مركبات PHENOXY



(شكل ٢٠٢) : التركيب الجزيئى لبعض مركبات الفينوكسى.

رابعا : مضادات الأوكسينات Antiauxins

وهى مركبات تضاد عمل الأوكسينات وبمعنى آخر هى مركبات تنافس الأوكسينات فى تفاعل معين فى الخلية النامية. تتوقف درجة تثبيط الأوكسينات على كمية الأوكسينات ومضادات الأوكسينات الموجوده فى نسيج معين أو فى

عضو معين. كلما قل تركيز الأوكسين وزاد تركيز المضاد كانت النتيجة تثبيط النمو والعكس صحيح . أما عن تأثير مضادات الأوكسينات على الأوكسينات يكون بطرق عديدة بعضها غير معروف. ومن أمثلة مضادات الأوكسينات مركب TIBA وتركيبه 2,3,5 triiodobenzoicacid (شكل ١٩٥). تفسر ميكانيكية عمل هذا المركب كما يلي :

١ - **التنافس علي أماكن الأرتباط binding sites بالخلية**: توجد أماكن الأرتباط علي أغشية الخلية ومنها الأكتوبلاست. وهي عبارة عن أماكن إرتباط محددة بالخلية يرتبط بها كل من الأوكسين ومضاد الإوكسين ولذلك يوجد تنافس بينهما علي الأرتباط بهذه الأماكن وشغلها. ولذلك فإن إرتباط مضاد الأوكسين بهذه المناطق يمنع الأوكسين من الأرتباط وبذلك لا يظهر تأثير الأوكسين. لابد من وجود تشابه بين تركيب الجزيئات التي ترتبط بنفس أماكن الأرتباط. ولذلك لابد من وجود تشابه بين التركيب الجزيئي للأوكسين ومضاد الأوكسين. المركبات التي تختلف في تركيبها الجزيئي بدرجة كبيرة لا ترتبط في نفس المكان.

٢ - **منع حركة الأوكسين في النبات**: أمكن إثبات أن هذا المركب يؤثر ويعوق حركة إندول حامض الخليك في أنسجة نبات البسلة وفي غمد الريشة لنبات الشوفان ويعتقد أنه يساعد علي ربط إندول حامض الخليك بالبروتين وبذلك يمنع حركته.

٣ - **تنشيط أنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك**: يعتقد أن هذا المركب ينشط إنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك وبذلك يقل تركيز الأوكسين وينتج عن ذلك تثبيط للنمو.

خامسا : المركبات الفينولية والكينون

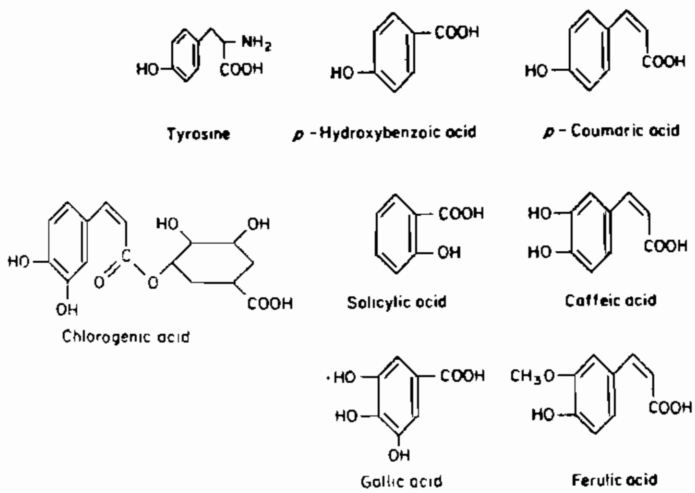
Phenolic Compounds and Quinons

تحتوى النباتات على أنواع مختلفة من المركبات الفينولية (شكل ٣٠٢) وتكون عادة بتركيزات كبيرة نسبيا عند مقارنتها بتركيز الهورمونات النباتية. تعتبر هذه

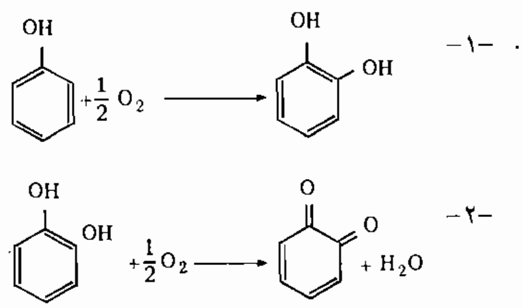
المركبات مشتقات لمركبات الفينول . يتكون الفينول من حلقة أروماتية aromatic ring عليها مجموعة إيدروكسيد واحدة. تقسم الفينولات إلى فينولات أحادية الأيدروكسيد monophenol وثنائية الأيدروكسيل diphenols وعديدة الأيدروكسيد pholyphenols . لا يعنى ذلك أن الفينولات تتكون من حلقة واحدة أروماتية ولكن يمكن أن تتكون من أكثر من حلقة أى بمعنى آخر فإن المركبات الفينولية تحتوى على الأقل حلقة أروماتية وعليها على الأقل مجموعة إيدروكسيد . يعتبر حامض السلسيلك salicylic acid والفيريلك ferulic acid وحامض باراكوماريك P-coumaric acid من الفينولات الأحادية الأيدروكسيل بينما يعتبر حامض الكافييك caffeic acid والكاتيكول catechol و quercetin والهيدروكينون hydroquinone وحامض الجنتسيك gentisic acid من الفينولات الثنائية الإيدروكسيل وكثير من هذه المركبات شائعة الوجود فى النبات. يعتبر حامض الجاليك gallic acid من الفينولات عديدة الإيدروكسيل. توجد كثير من الفينولات العديدة الإيدروكسيد فى النبات فى صورة مركبات جليكوسيدية glycosides ويكون فيها السكر عبارة عن جلوكوز أو فركتوز أو رامنوز ومن أمثلة ذلك الأنثوسيانين وهى صبغة شائعة الوجود فى النبات ويكون فيها الفينول ثنائى أو عديد الأيدروكسيد وتسمى مركبات anthocyanidins. تعتبر التانينات tannins الموجودة فى النبات عبارة عن جليكوسيدات لحامض الجاليك وحامض إلاجيك elagic acid وكلاهما فينول عديد الإيدروكسيل. يدخل فى تركيب اللجنين مركبات فينولية ومنها مركب phenylpropane.

بعض الأحماض الأمينية تكون فينوليه مثل التيروسين والفينيل ألانين كما يعتبر فيتامين k مركب فينولى.

عند أكسدة المركب الفينولى بأنزيم الفينول أوكسيديز يتحول إلى مركب الكينون. يتميز المركب الكينونى بأنه يتكون على الأقل من حلقة أروماتية عليها على الأقل ذرة أكسجين ذات رابطة مزدوجة (شكل ٢٠٤).



(شكل ٢٠٣) : التركيب الجزيئى لبعض المركبات الفينولية.



(شكل ٢٠٤) : نشاط أنزيم الفينول أوكسيديز.

١ ـ نشاط cresolase

٢ ـ نشاط catecholase

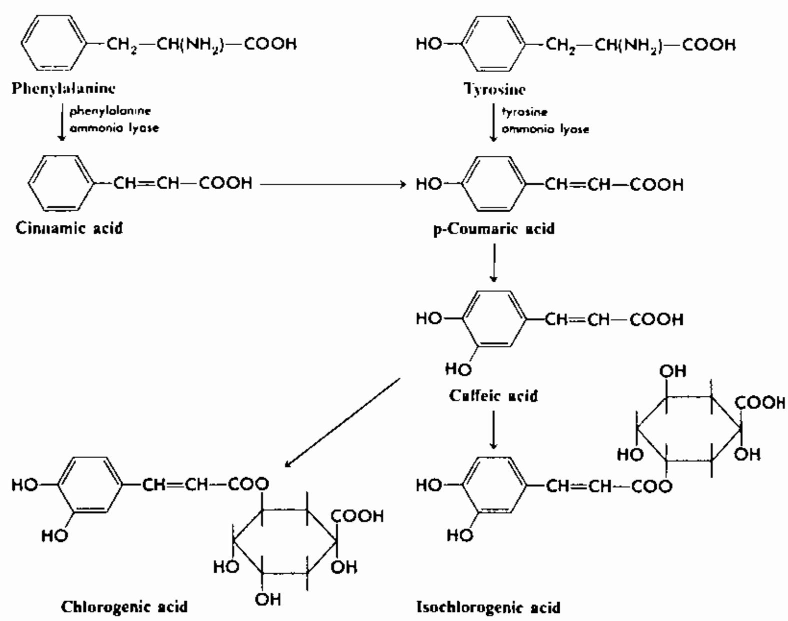
ومن مركبات الكينون الموجوده فى النبات طبيعيا جيجلون Juglone وأيضا بلاستوكينون plastoquinone .

تخليق المركبات الفينولية:

تتكون هذه المركبات من الحامض الأمينى فينيل الأنين بواسطة أنزيم phenylalanine ammonia lyase والذى يحول الحامض الأخير إلى حامض السيناميك cinnamic. كما تتكون بدرجة أقل من التيروسين بواسطة أنزيم tyrosine ammonia lyase والذى يحول الحامض الأمينى تيروسين إلى حامض باراكوماريك P-coumaric acid. يتحول الأخير إلى حامض الكافييك ويتكون من حامض الكافييك حامض الكلوروجينيك chlorogenic. يتكون أيضا من حامض الكافييك حامض فيريلك ferulic acid (شكل ٢٠٥).

ميكانيكية عمل الفينولات:

بعض المركبات الفينولية ثنائية الإيدروكسيد تثبط أنزيم أوكسيديز إندول حامض الخليك مثل حامض الكلوروجينك chlorogenic acid وحامض الكافييك caffeic acid والجليكوسيد كويرستين quercitin (شكل ٢٠٦). نتيجة لتثبيط هذا الأنزيم فإن النمو يحدث طبيعيا. والعكس صحيح فإن بعض المركبات الفينولية أحادية الأيدروكسيد تنشط أنزيم إندول حامض الخليك إوكسيديزIAA oxidase حيث ينشط الأنزيم وتعتبر عامل مساعد cofactor له ومثال ذلك مركب حامض الباراكوماريك P-coumaric acid ومركب 4 -hydroxybenzyl alcohol وحامض ferulic والجليكوسيد kaempferol (شكل ٢٠٦ و ٢٠٧) نتيجة لنشاط الأنزيم الزائد يقل تركيز أندول حامض الخليك وبالتالى يقل النمو (شكل ٢٠٧). يلاحظ أن جميع مركبات الفينول السابقة توجد طبيعيا فى النبات وأن المركبات وحيدة الأيدروكسيد تنشط إنزيم إندول حامض الخليك أوكسيديز بينما المركبات ثنائية الأيدروكسيد تثبط الأنزيم.



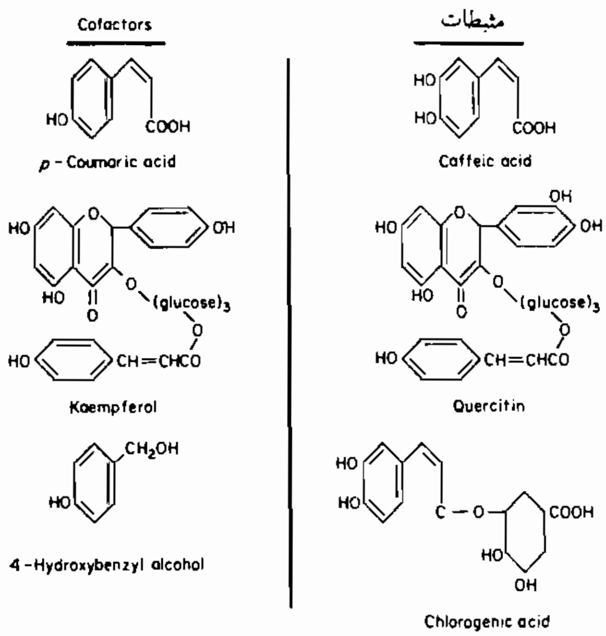
(شكل ٢٠٥) : تخليق المركبات الفينولية.

تم تتبع هذه الخطوات في الجذر الدرني للبطاطا بعد تعرضه لأضرار ميكانيكية أو نتيجة للإصابة بالطفيليات الممرضة.

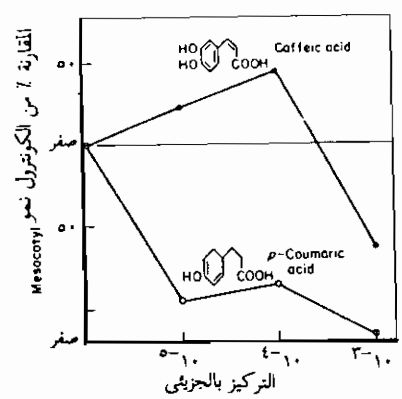
سادسا : مركب ماليك هيدرازيد والمركبات المشابهة

أول مركب تم إكتشافة فى هذه المجموعة هوماليك هيدرازيد maleic hydrazide (شكل ١٩٥) عام ١٩٤٩ حيث أثبتا Hoffmann و Schoene أن معاملة نباتات الطماطم بمحلول من ماليك هيدرازيد قد سبب الحد من إستطالة ساق النبات كما أنه أفقد هذا النبات خاصية السيادة القمية حيث أنه يثبط نشاط الخلايا المرستيمية فى القمم النامية للسيقان لذلك تنمو البراعم الأبطية أسفل البرعم الطرفى ولهذا يصبح النبات ذو مظهر متورد bushy plant. وحيث أن ظاهرة السيادة القمية متوقفة على

تأثير إندول حامض الخليك فإن منع حدوث ظاهرة السيادة القمية تعتبر حالة مضادة ويمكن أن يعتبر المركب المسؤل مضاد أوكسين antiauxin.



(شكل ٢٠٦) : مرافقات الأنزيم cofactors ومثبطات الأنزيم الموجودة طبيعيا في النبات. أنزيم إندول حامض الخليك أو كسيد



(شكل ٢٠٧) : تأثير حامض الكافييك والكوماريك على نمو الـ mesocotyl في وجود ١٠ ميكروجزيئي أندول حامض الخليك

يستعمل هذا المركب لمنع نمو الأبصال أى تزريع الأبصال أثناء التخزين حيث أن رش النبات قبل الجمع بأسبوع إلى أسبوعين يمنع تزريع الأبصال أثناء التخزين لمدة ستة أشهر له نفس التأثير على البطاطس وبدرجة أقل فى الثوم.

يمكن تقدير تركيز إندول حامض الخليك بإستعمال طريقة إنحناء سيقان البسلة المشقوقة split pea. وعند إستعمال محلول ماليك هيدرازيد يمكن إلغاء هذا التأثير. ولكن إضافة تركيز زائد من الأوكسين يمنع تأثير مركب ماليك هيدرازيد مرة أخرى ولذلك يعتبر تأثير هذا المركب هو تثبيط تنافسى competitive inhibition.

يعتبر إلغاء التأثير من أهم مميزات التثبيط التنافسى حيث أن تأثير مركب معين يمكن منعه بإضافة مركب آخر ثم يمكن منع تأثير المركب الأخير بإضافة تركيز زائد من المركب الأول وهكذا. ولكن فى تجارب أخرى ثبت أن تأثير ماليك هيدرازيد ليس من نوع التثبيط التنافسى. ولذلك فإن ظاهرة التثبيط واضحة تماما لهذا المركب ولكن ظاهرة التثبيط التنافسى واضحة فى بعض الحالات وغير واضحة فى البعض الآخر.

أما عن تأثير ماليك هيدر ازيد فإنه يثبط نشاط الخلايا المرستيمية فى القمة النامية للسيقان ولكن ميكانيكية حدوث ذلك غير معروفة بطريقة قاطعة. أثبت البعض أن هذا المركب يساعد على أكسدة إندول حامض الخليك فيقلل من تأثير الأوكسين.أثبت البعض الآخر أنه يؤثر على بعض أنزيمات التنفس بينما أثبت البعض الآخر أنه يتداخل مع التحول الغذائى للأحماض النووية interfere with nucleic acid metabolism لانه يشبه بدرجة كبيرة المركب يوراسيل الذى يدخل فى تكوين الأحماض النووية. ولذلك فإن ميكانيكية تأثيرة غير معروفة بالضبط ولكن قد يرجع تأثيرة إلى أحد العوامل السابقة أو بعضها أو جميعها.

بعد ذلك أكتشفت مركبات أخرى تماثل فى مركب ماليك هيدرازيد وهى تعتبر مشتقات من مركب الهيدرازين hydrazine derivatives.

أستعمال منظمات النمو فى الزراعة

تستعمل منظمات النمو أستعمالات إقتصادية لخدمة الزراعة وفيما يلى بعض الأمثلة لذلك :

١ - التكاثر الخضرى Vegetative Propagation :

يفضل التكاثر الخضرى عن التكاثر بالبذور فى حالات كثيرة ومنها أن التكاثر الخضرى يحافظ على التركيب الوراثى للنبات دون تغيير. حيث أن البذور تنتج نتيجة للتلقيح والأخصاب وكثيراًما يكون التلقيح خلطى ولذلك يحدث بإستمرار تغيير فى التركيب الوراثى للبذور الناتجة وقد تحمل نتيجة لذلك صفات غير مرغوبة. لذلك تفضل زراعة العقل فى كثير من الحالات عن الزراعة بالبذور.

يفضل التكاثر الخضرى فى بعض أنواع الفاكهة حيث أن النباتات الناتجة تكون متساوية تقريباً فى النمو uniform vigour وينتج عنها ثمار ذات أحجام متناسقة وألوان ومذاق متقارب. ولا يحدث ذلك بنفس الصورة فى البذور لإختلافها الكبير فى التركيب الوراثى.

فى بعض النباتات يفضل التكاثر الخضرى لأسباب أخرى حيث أنه من الصعب عمل التكاثر بالبذور إلا فى حالات التربية حيث أن البذور تكون صغيرة الحجم بدرجة كبيرة وإنباتها ضعيف وينتج عنها بادرات ضعيفة وقد لا تنمو هذه البادرات بدرجة مناسبة.

ومن أمثلة هذه النباتات البطاطس والورد والجهنمية *Bouginvillea* حيث تتكاثر البطاطس بالدرنات والنباتات الأخرى بالعقل الساقية.

يمكن أن يكون التكاثر الخضرى هو الطريقة الوحيدة فى حالة الثمار التى تنتج بكريا وبالتالى تكون عديمة البذور مثل الموز والأناناس البرتقال أبو سره.

توجد طرق عديدة للتكاثر الخضرى مثل زراعة العقل والتجذير أى تكوين الجذور على العقل rooting of cuttings والترقيد layering والتطعيم grafting.

يعد استعمال منظمات النمو فى دفع العقل نحو التجذير أو إسراع تجذيرها من أقدم الاستخدامات المعروفة لمنظمات النمو. كما يعد إندول حامض البيوتيريك Indole butyric acid (اختصاراً IBA) أفضل منظمات النمو لهذا الغرض، لأنه يتحلل ببطء نسبياً فى النبات بواسطة الإنزيمات التى تحطم الأوكسينات، ولأنه بطئ الانتقال، ويبقى معظمه فى المنطقة المعاملة، وتلك صفة أخرى مرغوبة ولذلك فهو يستخدم فى تجذير معظم النباتات.

ومن المركبات الأخرى الشديدة الفاعلية، والتى تستعمل كثيراً فى التجذير نفثالين حامض الخليك Naphthalene acetic acid (اختصاراً NAA)، وهو أكثر سمية للنباتات من إندول حامض البيوتيريك، ولهذا تزيد احتمالات حدوث الأضرار بالنباتات المعاملة به. ومن المركبات الأخرى كذلك أميدات (amide forms) كل من IBN و NAA. ويعتبر أميد الـ NAA أقل سمية وأكثر أماناً فى الاستعمال من الحامض نفسه. كما تستخدم العديد من مركبات الفينوكسى phenoxy فى التجذير، مثل الـ 2,4 - dichlorophenoxyacetic acid (اختصاراً 2,4 -D)، و 2,4,5-trichloro-phenoxyacetic acid (اختصاراً 2, 4,5-T). ورغم أنها تشجع التجذير عند استعمالها بتركيزات منخفضة، إلا أن التركيزات المناسبة للتجذير تعتبر قريبة من التركيزات السامة للنباتات، ولهذا فإنها محدوده الأستعمال.

ويختلف نوع المجموع الجذرى المتكون باختلاف منظم النمو المستعمل، فأحماض الفينوكسى تنتج مجموعاً جذرياً قصيراً وكثيفاً وذا جذور سميكة، بينما أحماض البيوتيريك تنتج مجموعاً جذرياً ليفيا قويا.

وتستعمل منظمات النمو فى التجذير بإحدى ثلاثة طرق:

١ـ بالغمس السريع للأطراف القاعدية للعقل فى محلول مركز يمكن أن يصل تركيزه حتى ١٠٠٠٠ جزء فى المليون.

٢ـ بنقع قواعد العقل لفترات محدودة تصل حتى ٢٤ ساعة فى محاليل مخففة بتركيز ١٠ ـ ٥٠٠ جزء فى المليون.

٣ـ بمعاملة قواعد العقل بمنظم النمو وهو فى صورة مسحوق مخلوط بمسحوق آخر مناسب بتركيز يتراوح من ٥٠٠ ـ ١٠٠٠ جزء فى المليون.

أ ـ زراعة العقل: يمكن أن تكون عقل ساقية أو جذرية أو ورقية، ولكن من المعتاد أن تكون الزراعة بالعقل الساقية فى جميع الأحوال لسرعتها فى تكوين الجذور العرضية على الجزء السفلى من العقلة وسرعتها أيضاً فى تكوين المجموع الخضرى من الجزء العلوى من العقلة ونادراً ما تستعمل العقل الجذرية بطريقة إقتصادية إلا فى حالة واحدة فقط هى البطاطا وحيث يمكن أن تتكون براعم على جذور نبات الجوافه وأيضاً نادراً ما تستعمل العقل الورقية إلا فى حالة البيجونيا *Begonia* والبرايوفيللم *Bryophyllum* .

تنجح بعض النباتات فى الزراعة بالعقل الساقية لسرعتها فى تكوين الجذور العرضية بينما تفشل نباتات كثيرة فى الزراعة بالعقل. عادة تتكون الجذور العرضية من الأنسجة الداخلية للساق. ولكن فى بعض الحالات يمكن أن تتكون الجذور العرضية على ساق النبات الأصلى وتبقى هذه الجذور ساكنة ولا تنمو. ولكن عند قطع العقل من النبات ووضعها فى التربة فإنها تنمو بكفاءة عالية ومثل ذلك نبات الحور *Populus*.

فى كثير من النباتات الخشبية تفشل عملية الزراعة بالعقل الساقية لعدم قدرة هذه العقل على تكوين جذور عرضية حتى فى حالة معاملتها بالأوكسينات ومن أمثلة ذلك الكافور والمانجو والجوز والجاكاراندا وبعض النباتات الأخرى. وفى تجربة تم معاملة عقل النباتات المذكورة (جدول ١٤) بأندول حامض الخليك وإندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك ولم تنتج جذور.

(جدول ١٤) : أسماء نباتات تفشل فى التجذير بالرغم من معاملتها بمنظمات النمو

اسم النبات	العائلة أو تحت العائله
Acacia catechu	mimosoideae
Dilonix regia	caesalpinioideae
Eucalyptus citriodora الكافور	myrtaceae
Jacaranda mimosifolia الجاكارندا	bignoniaceae
Juglans regia الجوز	juglandaceae
Michelia champaca	magnoliaceae

وأيضاً فى كثير من نباتات أخرى فإن العقل الساقية تكون قادرة على تكوين جذور عرضية عند زراعتها وقد يكون عدد قليل من الجذور. يمكن أن تزيد معاملة العقل الساقية بالأوكسينات فى زيادة كفاءة العقل على تكوين الجذور العرضية فى كثير من النباتات ومنها ما يلى (جدول ١٥).

تسبب منظمات النمو سرعة تكوين الجذور وزيادة عدد الجذور العرضية على العقلة وزيادة عدد العقل التى تكون الجذور وتزيد من كفاءة تكوين الجذور العرضية على العقل لمدة أطول wider period of time.

نتيجة لكفاءة تكوين الجذور العرضية على العقلة فإن النبات يتكون بسرعة وبقوة vigorous new plant.

تتوقف كفاءة التجذير على العقل على عوامل عديدة وأهمها ما يأتى:

(جدول ١٥) : نباتات تكون عقلها الساقية جذور عرضية بكفاءة عند معاملتها بأوكسينات بتركيز ١٠٠ ملليجرام لكل لتر.

إسم النبات	المقارنة		المعاملة					
			IAA		IBA		NAA	
	عدد العقل الناجحة	عدد الجذور للعقله	عدد العقل الناجحه	عدد الجذور للعقله	عدد العقل الناجحه	عدد الجذور للعقله	عدد العقل الناجحه	عدد الجذور للعقله
Ficus palmata	١٠	١	٣٠	٩,٦	٨٠	١٤,٨	١٠٠	٢١,٢
Hibiscus rosa-sinensis	١٠	٠,٣	٥٠	٣	١٠٠	٦,٦	٥٠	٠,٥
Populus nigra	٦٠	٤,٨	٨٠	٤,٧	١٠٠	١٤,٩	٩٠	١٩,٢

ـ نوع الأوكسين المستعمل .

ـ طريقة المعاملة هى غمر فى محلول الأوكسين أو المعاملة بمسحوق الأوكسين.

ـ عمر النبات الذى أستعمل كمصدر للعقل .

ـ مكان أخذ العقلة من النبات .

ـ الفصل الذى تم أخذ العقلة خلاله .

ـ حالة تغذية النبات عند أخذ العقل .

ـ درجة الحرارة أثناء التعقيل والزراعة .

ـ وجود أو غياب الأوراق على العقل .

ـ نوع ودرجة ومده الأضاءة أثناء التعقيل والزراعة .

توجد أستعمالات كثيرة للأوكسينات على نباتات كثيرة منها الهبسكس والدفله (ورد الحمار) *Nerium* وبنت القنصل poinsettia والورد والتفاح والليمون وتكون الأوكسينات ذات كفاءة عالية فى تجذير هده العقل لهذه النباتات. يعتبر إندول حامض البيوتريك ونفثالين حامض الخليك أكثر كفاءة من أندول حامض الخليك

حيث أنهما أكثر ثباتاً على العقل من إندول حامض الخليك. أحياناً يكون خليط من أكثر من أوكسين أكثر فاعلية من أوكسين واحد .

كيفية تحضير العقل

يمكن أخذ العقل من الساق الرئيسى أو الفروع ويكون طولها بين عشرة إلى ١٥ سم. عند أخذ العقل من نموات السنة الحالية والتى تكون عادة خضراء تسمى soft wood cuttings وعند أخذ العقل من أجزاء مسنة تسمى hard wood cuttings. عادة يكون النوع الأول أفضل من النوع الثانى. عند أخذ العقل من النباتات الخشبية قبل مرحلة الأزهار أى فى juvenile phase تكون أفضل من أخذها من الأشجار المسنة. بعض العقل فى بعض النباتات لا تكون جذور إطلاقاً إلا فى حالة أخذها من البادرات الصغيرة، ولا تفضل الحالة الأخيره من العقل فى البساتين. تكون العقل الجذور بكفاءة عالية فى وجود الأوراق والبراعم والعكس صحيح فى حالة عدم وجود براعم وأوراق. حيث أن الأوراق تمد العقلة بالغذاء المجهز كما تمد البراعم العقلة بمنظمات النمو، ولكن أحياناً يكون وجود الأوراق غير مفيد وضار بالعقلة حيث أن الأوراق تقوم بعملية النتح ومع عدم تكون الجذور على العقلة يسبب ذلك جفاف للعقلة وقد تموت، ولذلك أحياناً يفضل أزالة الأوراق قبل زراعة العقلة. تفضل العقل السميكة المأخوذة من نباتات معرضة لفترة ضوئية مناسبة حيث أن هذه العقل تحتوى على كمية كبيرة من الغذاء المخزن. معاملة العقل بالأوكسين تساعد فى حالات كثيرة على تكوين الجذور ونجاح الزراعة بالعقل وبالأضافة إلى ذلك أيضاً تفيد فى ذلك الصدد المعاملة بالأثيلين أو أول أكسيد الكربون.

تسبب عادة السيتوكينينات والجبريللينات ومعوقات النمو وحامض الأبسيسيك تثبيط لتكوين الجذور العرضية على العقل إلا فى بعض حالات قليلة لبعض النباتات يكون العكس صحيح.

طريقة معاملة العقل: يوجد طريقتين رئيسيتين لمعاملة العقل وهما:

١ ـ طريقة الغمر Dip Method:

وفى هذه الحالة يتم إذابة الأوكسين فى كمية قليلة من مذيب عضوى مثل كحول الإيثايل ثم يتم تخفيف ذلك بالماء لدرجة كبيرة. يوضع المحلول فى أوعية زجاجية أو بلاستيك ثم يوضع ٣ ـ ٥ سم من الجزء السفلى من العقلة فى محلول الأوكسين لمدة يوم كامل . يختلف التركيز المناسب من الأوكسين بإختلاف النبات والعقلة والظروف البيئية ولذلك يجب دراسة ذلك ومعرفة التركيز الأمثل للنبات المعين وعادة تكون التركيزات بين عشرة إلى مائة ملليجرام أوكسين لكل لتر مناسبة لجميع الحالات. يلاحظ أن التركيزات الزائدة عن المعتاد تسبب سمية للعقل والعكس صحيح حيث أن التركيز القليل يكون عديم الجدوى.

٢ ـ طريقة المسحوق Powder Method :

فى هذه الطريقة نحتاج إلى تركيز كبير نسبياً من الأوكسين بالمقارنة بالطريقة السابقة حيث يكون التركيز بين عشرة إلى خمسة عشر ضعف. يمكن إستعمال بودرة الأوكسين مباشرة وفى الطريقة الأخرى يمكن إذابة الأوكسين فى قليل من كحول الإيثيل ثم يتم خلط ذلك مع الطين أو مسحوق الطباشير أو بودرة التلك. يغمر الجزء القاعدى من العقلة فى الماء ثم يغمر بعد ذلك فى المسحوق المحتوى على الأوكسين. ثم تزرع العقل فى المهد. يلتصق الأوكسين بالجزء السفلى من العقلة ويشجع تكوين الجذور.

تعتبر هذه الطريقة أسرع من الطريقة السابقة حيث يمكن معاملة كميات كبيرة من العقل فى زمن قليل نسبياً، ولكن من المآخذ على هذه الطريقة أن الأستجابة للأوكسين تكون متغيرة لعدم تماثل تركيز المسحوق على قاعدة العقلة.

ب ـ الترقيد Layering:

لا تكون عقل بعض النباتات جذور عند زراعتها فى التربة بالرغم من وجود كل الأحتياطات الخاصة بذلك. ولذلك نلجأ إلى طريقة الترقيد فى هذه النباتات؛ وفى هذه الطريقة لا يتم فصل الجزء المراد إكثاره من النبات الأم إلا بعد التأكد من نجاح تجذيره وذلك على العكس من العقل الساقية، ويقصد بالترقيد ثنى فرع من النبات الأم ودفنه تحت سطح التربة وهو ما زال متصلاً بالنبات الأم. وبذلك يستمر هذا الفرع فى نموه معتمداً تماماً على ما يحصل عليه من غذاء ومواد النمو الأخرى من النبات الأم. والهدف من دفن الفرع المراد ترقيده فى التربة هو تهيئة بيئة مناسبة لخروج الجذور العرضية خاصة فى مناطق العقد وأسفل البراعم الأبطية بالأفرع. يمكن تشجيع خروج الجذور العرضية بعمل جروح أوخدوش على العقد. يمكن أيضاً عمل تحليق girdling للفرع فى منطقة الترقيد ويتم نتيجة لذلك إزالة نسيج اللحاء والقلف ويتم تجمع المواد الغذائية ومنظمات النمو أعلى منطقة التحليق. يمكن أيضاً معاملة المنطقة السابقة بالأوكسينات لتشجيع خروج الجذور. يضاف أيضا للفرع حول منطقة التحليق تربة رطبة مبللة محتوية على نبات حزازى سفاجنم sphagnum moss وسماد طبيعى أو أى مواد أخرى لها قدرة على الأحتفاظ بالماء وتغطى هذه المنطقة بغطاء من البولى إيثيلين محكم الربط وذلك للأحتفاظ بالرطوبة فى هذه المنطقة ومنع الجفاف.

تتكون الجذور العرضية أعلى منطقة التحليق، وبعد تمام تكوين الجذور العرضية يتم فصل الفرع عن النبات الأم تماماً ويتم زراعة هذا الجزء من الفرع فى التربة كنبات مستقل. يتم نزع الأوراق من الفرع قبل زراعته لمنع النتح ولمنع جفاف الفرع فى كثير من الأحيان. تستعمل هذه الطريقة بكثرة فى أكثار أشجار الفاكهة المانجو والجوافة ونباتات الزينة مثل الفيكس ديكورا وأيضاً بعض أشجار الغابات.

جـ - التطعيم Grafting :

يعتبر التطعيم عبارة عن وضع أو تركيب أو نقل جزء نباتى حى من النبات المراد إكثاره ويسمى الطعم scion على جزء نباتى حى من نبات آخر يسمى الأصل stock أو root stock وذلك بشرط أن يتم الإلتحام بين هذين الجزئين النباتيين لتكوين وحدة واحدة أو نبات جديد مستقل. ولكن يحدث الألتحام التام بين الأصل والطعم لابد أن يكون كمبيوم الأصل مقابل لكمبيوم الطعم وأن يكون كلاهما خشب للداخل ولحاء للخارج وأن يكون الأتصال تام بين لحاء وخشب الأصل والطعم. وحيث أن الأوكسينات لها دور فى تشجيع إنقسام خلايا الكمبيوم ولذلك فإن غمر الأصل أو الطعم أو كلاهما فى محلول أوكسين قبل التطعيم مباشرة يساعد على تنشيط إنقسام خلايا الكمبيوم وعمل إلتحام مبكروسليم بين الأصل والطعم وبالتالى نجاح عملية التطعيم.

٢ - كسر طور السكون Breaking of Dormancy :

يمكن التأثير على سكون البراعم وكمون البذور بأستعمال بعض منظمات النمو. يمكن تنشيط سرعة إنبات بعض البذور لمدة تتراوح بين يومين ألى أربعة أيام عند معاملة البذور بالجبريللين ومثال ذلك الفاصوليا والبسلة والشعير والقمح وغيرها من النباتات النجيلية. ولكن تصبح البادرة طويلة عن المعتاد وأرفع أى أقل سمك وملتوية. ولذلك لا تستعمل هذه المعاملة فى الزراعة . ولكن العكس صحيح فى حالة البذور التى تحتاج إلى فترة كمون طويلة قد تصل إلى عدة أشهر حيث تكون المعاملة بالجبريللين مجدية ومفيدة. تفيد المعاملة بالجبريللين فى البذور التى تحتاج إلى فترة بادرة جداً period of chilling treatment أى تحتاج إلى كمر بارد cold stratification.

لا تنبت بذور العنب بعد جمع العنب حيث أنها تحتاج لفترة باردة تمتد إلى ثلاثة أشهر. وجد أن معاملة البذور بالجبريللين تسبب إنباتها مباشرة ودون إحتياج إلى فترة باردة. يمكن أيضاً تطبيق نفس الحالة فى بذور التفاح والكريز والخوخ.

لا يمكن للبراعم الموجودة على درنات البطاطس من النمو مباشرة بعد جمع الدرنات من الحقل حيث أنها تحتاج إلى فترة تخزين لكى تنبت البراعم . ولكن فى حالة تخزين الدرنات فإن النمو لا يحدث فى فترة واحدة بل يحدث على فترات مختلفة متباعدة. .تعامل الدرنات قبل الزراعة بالجبريللين لكسر طور السكون للبراعم وأيضاً يكون نمو البراعم متجانس وفى وقت واحد . حيث يتم غمر درنة البطاطس أو أجزاء منها فى محلول جبريللين تركيزه يتراوح بين ٥٠٠ إلى ألف جزء فى المليون من حامض الجبريلليك وذلك لمدد مختلفة تبعاً لصنف البطاطس . تسبب هذه المعاملة تكوين درنات صغيرة الحجم ومحصول أقل، ولكن أمكن التغلب على ذلك بمعاملة الدرنات بمركب ethylene chlorhydrin .

٣ ـ تثبيط ومنع البراعم Inhibition of Sprouting :

يتم تخزين درنات البطاطس والبصل لفترات طويلة لأستعمالها على مدار السنة . تنمو البراعم الموجودة على الدرنات أو الأبصال sprout فى درجات الحرارة العادية وينتج عن ذلك إنخفاض وزن الدرنات والأبصال وأنكماشها وتصبح عرضة للأصابة بالبكتريات والفطريات وبالتالى تتعفن، وفى جميع الحالات السابقة تصبح الدرنات والأبصال عديمة القيمة الإقتصادية وغير صالحة للتسويق والأستعمال.

يمكن منع نمو براعم درنات البطاطس وذلك بتخزينها على درجة حرارة منخفضة أقل من خمس درجات مئوية . يصعب تخزينها على مدار السنة على درجة الحرارة المنخفضة خاصة عندما تكون الكميات كبيرة. ومن مضار التخزين البارد الطويل هى تكوين سكريات مختزلة بداخل الدرنات مثل الجلوكوز تسبب تدهور صفات الدرنة كما يسبب ذلك أيضاً حلاوة فى طعم الدرنات وهذا غير مرغوب بالنسبة للمستهلك. ومن مضار ذلك أيضاً أن الدرنات يظهر عليها لون بنى غير مرغوب عند عمل chips. تستعمل منظمات النمو لمنع نمو البراعم أثناء التخزين. يعتبر نفثالين حامض الخليك فعال فى ذلك بدرجة كبيرة عند غمر الدرنات فى محلول هذا الأوكسين. إختراق الأوكسين لقشرة البطاطس عامة ضعيفه وقد تصبح

المعاملة غير فعالة. ميثيل أستر نفثالين حامض الخليك ويسمى مينا MENA يكون فى صورة متطايرة ويكون له قدرة كبيرة على إختراق قشرة الدرنات وبالتالى تكون المعاملة فعالة. تعامل الدرنات بالمركب الأخير وذلك برشه على الدرنات أو يشبع منه قصاصات ورق توضع حول الدرنات أثناء التخزين. تسبب هذه المعاملة منع نمو البراعم لعدة أشهر. يمنع مبيد الحشائش CIPC نمو براعم البطاطس والبصل وجذور البطاطا.

يمكن تلافى الصعوبات السابقة برش الأوكسين على النبات نفسه فى الحقل قبل الجمع. يجب ضبط موعد الرش بالأوكسين عندما تكون الأوراق خضراء مع أكتمال تكوين الدرنات بحيث تكون فى حجمها الطبيعى. رش الأوكسين فى موعد مبكر عن ذلك يسبب نقص المحصول بينما رشه والأوراق صفراء بسبب عدم إنتقال الأوكسين إلى الدرنات. توجد البراعم على سطح درنات البطاطس ولذلك يمكن أن تستجيب لهذه المعاملات بسهولة والعكس صحيح فى حالة البصل حيث أن البراعم تكون مغطاه بقواعد الأوراق المتشحمة ومن الصعب وصول الأوكسين إليها، ولذلك يتم رش الأوكسينات على النبات فى الحقل. يعتبر مينا غير فعال تماماً فى حالة البصل. وقد وجد أن رش نبات البصل بمحلول ماليك هيدرازيد فى الحقل وقبل الجمع بأسبوع إلى أسبوعين يسبب عدم نمو براعم الأبصال أثناء التخزين. يعتبر موعد الرش مهم حيث أنه لابد من وجود أوراق خضراء وليست صفراء ليتم إنتقال المركب إلى البراعم وأيضاً لابد من ضمان تمام تكوين الأبصال وتصبح ذات حجم نهائى. تسبب هذه المعاملة منع نمو براعم الأبصال لمدة ستة أشهر أثناء التخزين. يستعمل أيضاً محلول ماليك هيدرازيد فى منع نمو براعم الجزر والبنجر أثناء التخزين.

٤ ـ التحكم فى حجم النبات Controlling the Size of Plants:

فى بعض الحالات نحتاج إلى زيادة طول أو حجم النبات وفى أحيان أخرى نحتاج إلى صغر حجم النبات وقصره وذلك تبعا للحالة. يستخدم فى ذلك الجبريللينات ومعوقات النمو. يتم زيادة طول نبات قصب السكر نتيجة للمعاملة بالجبريللين دون

تأثير على كمية السكر. ولذلك يحتوى النبات الطويل على كمية أكبر من السكر عن النبات العادى الطول ولذلك تزداد كمية السكر المستخرجة من الفدان نتيجة للمعاملة بالجبريللين ولنفس العدد من النباتات.

بعض النباتات الخشبية لا يمكن تنميتها فى أصارى لكبر حجمها ولكن بإستعمال معوقات النمو يمكن أختزال حجمها حيث أنها تسبب قصر ساق هذه النباتات ومن أمثلة ذلك نباتات بنت القنصل وكاميليا *Camelia* ورودندرون *Rhododendron* ومن أمثلة المركبات المستعملة CCC و B-Nine و phosphon D. يمكن بذلك تنمية هذه النباتات فى أصارى ونتيجة لقصر طول الساق تزهر هذه النباتات وهى قصيرة ويكون لون أوراقها أخضر داكن. تصبح هذه النباتات مفضله للمستهلك ومربحة للمنتج وأكثر جمالا.

يستخدم B-Nine و CCC لتقليل نمو بادرة التفاح وغيرها من النباتات فى المشتل وبذلك تصبح البادرة قصيرة ويسهل نقلها وشتلها. تتحمل أيضاً هذه البادرات الظروف البيئية أكثر من البادرات العادية حيث يحدث لهما عملية تقسية hardening وتكون قابلة للشتل بكفاءة أكبر.

يستخدم محلول ماليك هيدرازيد فى الرش على نباتات مختلفة مثل الصنوبر *Pinus* و *Juniperus* وحيث يسبب ذلك المركب تثبيط نشاط الخلايا المرستيمية فى القمة النامية للساق وبذلك يمنع تكوين الأوراق والبراعم والأزهار من هذه القمة النامية. وحيث أن البراعم الأبطية أسفل القمة النامية تكون ساكنة فلا تتأثر بهذه المعاملة بل أنها علاوة على ذلك تنمو نتيجة لكسر ظاهرة السيادة القمية وينتج عند ذلك نباتات قصيرة وعريضة bushy plants.

يستخدم أيضاً محلول ماليك هيدرازيد فى معاملة نباتات التبغ لمنع تكون الأفرع الجانبية أو السرطانات suckers. حيث أن نبات التبغ العادى يكون أفرع جانبية أو سرطانات وهذه تقلل من حجم ورقة التبغ على النبات الأصلى كما تقل أيضاً كمية القلويدات أى أشباه القلويات فيها ولذلك تقل القمية الأقتصادية لورقة التبغ.

يمكن أزالة هذه الأفرع يدوياً ولكنها تحتاج إلى وقت وقد تكون مكلفة فى بعض الدول. ولذلك فأن أزالة النورات ثم الرش مباشرة بمحلول ماليك هيدرازيد يسبب عدم تكون الفروع الجانبية ويستخدم ذلك فى مزارع التبغ على نطاق واسع.

يستعمل السيكوسيل CCC على نطاق واسع لأعاقة نمو الكريزانثمم وبنت القنصل وذلك فى صناعة الزهور فى الصوب الزجاجية ولا يستعمل السيكوسيل لهذه النباتات لتحسين نوعية جمالها عن طريق أعاقة نموها فقط ولكن تضيف للمربى أستغلالاً أفضل وأكفأ للمساحات فى الصوبة. يمكن أيضاً أستعمال مركب SADH أى B-9 فى حالة بنت القنصل. يعتبر تركيز السيكوسيل المناسب لبنت القنصل هو ثلاثة آلاف جزء فى المليون. يمكن أن تزهر نباتات بنت القنصل وهى فى الأصارى وطولها حوالى عشرون سم نتيجة للمعاملة بهذه المركبات وذلك بالرغم من أنها شجيرة ولا تزهر ألا بعد تمام نموها ويكون طولها عادة يزيد عن المترين.

٥ ـ التحكم فى الأزهار Control of Flowering :

يمكن أن يكون التحكم فى الأزهار بتنشيط الأزهار أو بتثبيط أو تأخير موعد الأزهار.

أ ـ تنشيط الأزهار Promotion of Flowering :

كثير من أصناف نبات الأناناس المنزرعة تكون نباتات ذات نهار قصير. تبدأ أزهار هذه النباتات فى شهر نوفمبر. لا تزهر جميع النباتات فى الحقل فى آن واحد أو حتى فى وقت متقارب حيث قد يستمر موسم الجمع لعدة أشهر كما أن أحجام الثمار تكون مختلفة وغير ثابتة. وجد أن أضافة محلول نفثالين حامض الخليك فى مركز النبات يسبب توحيد موعد الأزهار وبالتالى الأثمار وبالتالى يمكن جمع هذه الثمار ميكانيكياً فى وقت واحد. وعلاوة على ذلك يمكن التحكم فى حجم الثمار وذلك بالتحكم فى موعد الأزهار. فعندما يكون الطلب على الثمار الصغيرة الحجم فإن المعاملة تكون للنباتات الصغيرة والعكس صحيح عندما يكون الطلب على الثمار

الكبيرة فإنه يتم تأخير الأزهار. وعن طريق هذه المعاملة أيضاً يمكن الحصول على ثمار الأناناس على مدار السنة تقريباً حيث يتم تصنيع الأناناس وذلك بتقطيعه وتعليبه canning ويكون ذلك مناسب لتصنيع الأناناس. حيث أنه فى الحالة العادية ينتج الأناناس فى فترة معينة من السنة دون فترات أخرى وبذلك تتوقف عملية التصنيع.

كان يستعمل قديماً كربيد الكالسيوم calcium carbide لهذا الغرض حيث يوضع هذا المركب على هيئة مسحوق فى مركز النبات. وفى وجود الرطوبة ينتج عن هذا المركب غاز الأستيلين وهذا الغاز هو المسئول عن إزهار نبات الأناناس. ولكن الآن توقف إستعمال هذا المركب ويستعمل بدلاً منه الآن مركب ethrel أى ethephon وذلك على نطاق واسع.

فى كثير من النباتات الخشبية يمكن تشجيع حدوث الأزهار بتقصير فترة النمو الخضرى وذلك بالتقليم أو بتقليل أو إيقاف الرى. أمكن إستبدال هذه العمليات بالرش بالأوكسينات أو معوقات النمو. وأمكن عمل ذلك بإستعمال نفثالين حامض الخليك على نبات *Litchi chinensis* وأيضا بإستعمال B-Nine على التفاح والكمثرى والليمون. يمكن تشجيع الأزهار فى البطاطا برشها بمركب 2,4 -D ويستعمل ذلك فى أغراض التربية حيث أن تكاثر البطاطا بالعقل. تستخدم الأوكسينات فى تبكير أزهار وأثمار فول الصويا.

يستخدم حامض الجبريلليك فى تبكير تكوين نورات الخرشوف وحيث ترش النباتات بتركيز ٢٥ جزء فى المليون فى الخريف ولايجوز الرش قبل الحصاد بأسبوع أو أقل.

يمكن زراعة الجهنمية *Bougainvillea* فى أصص أى بتقصير النبات وأيضا تشجيع الأزهار حيث أن النبات ذو أربعة إلى ستة عقد يزهر بدرجة كبيرة وذلك بإستعمال مركب CCC. وجد أيضا نفس التأثير عند معاملة نباتات أزاليا *Azalia* وكاميليا *Camelia* بمركب CCC أو مركب B-Nine حيث يمكن زراعة هذه النباتات فى أصارى مع الأزهار الغزير.

ب ـ تأخير الأزهار Delay of Flowering:

يمكن أن يكون تأخير أو منع الأزهار مطلوب فى بعض الحالات كما يأتى:

ـ يعتبر ظهور الأزهار مبكرا فى بعض الأشجار غير مرغوب حيث أنه يقلل من فترة النمو الخضرى للنبات. وحيث أن النمو الخضرى هو المسئول عن التكوين الأساسى للنبات فإن الأزهار المبكر يعوق ذلك. وأيضا فى حالة الشليك فإن تثبيط الأزهار لفترة يسبب تكوين سيقان جارية runners بدرجة مناسبة وبذلك يزيد من كفاءة النبات وحجمه وبالتالى يزيد المحصول.

ـ أحيانا نحتاج خف الثمار ولذلك يفضل تقليل عدد الأزهار عن خف الثمار.

ـ عمل التلقيح الخلطى لنباتات تزهر فى أوقات مختلفة يكون صعب أو مستحيل

ولذلك نحتاج إلى تأخير أزهار الصنف المبكر لكى يتواقت أزهاره مع الصنف المتأخر ولذلك يمكن إجراء عملية التلقيح الخلطى بكفاءة وسهولة.

يستعمل الجبريللين فى ذلك حيث أنه يسبب تقليل أو منع الأزهار ويتوقف ذلك على التركيز المستعمل وذلك فى نباتات التفاح والخوخ والبرقوق والمشمش والليمون والبرتقال.

يسبب الأزهار فى قصب السكر تقليل تركيز السكر بدرجة تتراوح بين ١٠–٢٠٪ فى النبات. يمكن التغلب على ذلك بمنع أزهار النبات ويستعمل فى ذلك عديد من المركبات. يعتبر مركب ماليك هيدرازيد ونفثالين حامض الخليك من أفضل المركبات المستخدمة فى هذه الحالة.

يعتبر من الأهمية بمكان تقصير طول نباتات معينة ومنعها من الأزهار وهذه النباتات هى التى تستعمل فى صورة نمو خضرى مثل الفجل والجرجير والجزر. والعكس صحيح فى حالة هذه النباتات عندما تستخدم كمصدر للبذور أى للتقاوى حيث يفضل تنشيط إزهار هذه النباتات. ولذلك فإن إستخدام الجبريللين يساعد فى

زيادة طول الساق والأزهار والعكس صحيح يمكن إستخدام معوقات النمو مثلCCC و B-Nine و phosphon فى حفظ وإستمرار النمو الخضرى للنبات لأطول فترة ممكنة ثم يعقب ذلك الأزهار.

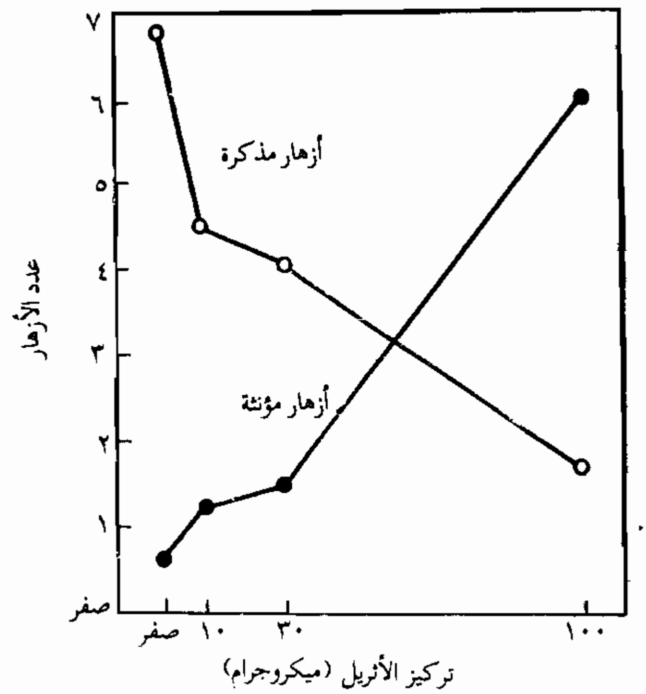
يعتبر نبات البامبو bamboo وحيد الحمل monocarpic حيث أن النبات يزهر مرة واحدة فى حياته ويلى فترة الأزهار موت النبات. أحياناً تزهر غابات هذا النبات مرة واحدة وبالتالى تموت ويسبب ذلك غلق المصانع التى تستعمل لب pulp هذا النبات فى الصناعة حيث تحتاج هذه الصناعة إلى إستمرارية الأزهار على مدار السنة ولكى تستمر الصناعة على مدار السنة ولذلك فأن إستعمال منظمات النمو المثبطة لتكوين الأزهار تكون فعالة فى هذه الحالة.

٦ ـ التحكم في جنس الزهرة Control of sex expression :

يتحكم التركيب الوراثى فى جنس الزهرة ويمكن تحوير ذلك بدرجة معينة بواسطة الظروف البيئية مثل طول النهار ودرجة الحرارة . يعتبر إستعمال منظمات النمو فعال فى كثير من الحالات.

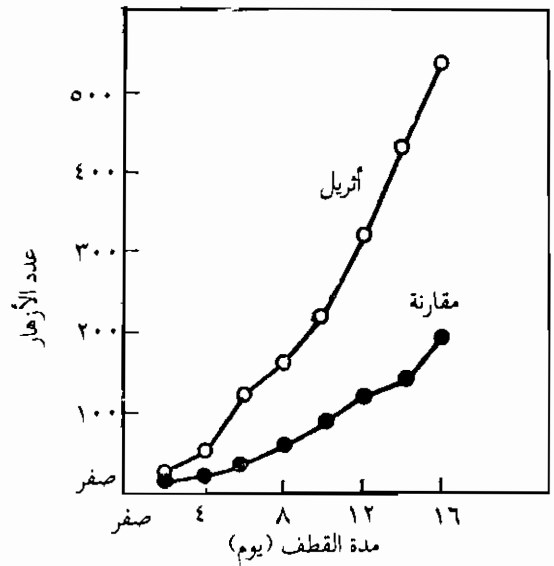
تتغير نسبة الأزهار المؤنثة إلى المذكرة بإختلاف الصنف والفصل والعناصر الغذائية فى التربة والإصابة بالأمراض وتأثير الحشرات. ومن أمثلة ذلك نبات اللوف *Luffa* حيث ينتج ٣٠ ـ ٤٠ زهرة مذكرة لكل زهرة مؤنثة. تعتبر الزهرة المذكرة عديمة الفائدة إلا فى عملية التلقيح وبعد ذلك تذبل وتموت. ولذلك فإن أساس المحصول فى هذه الحالة هو عدد الأزهار المؤنثة وكلما زادت الأزهار إرتفع المحصول. يعتبر معاملة أزهار القرعيات بالأوكسينات عامل هام فى زيادة عدد الأزهار المؤنثة وخفض عدد الأزهار المذكرة. يعتبر ethrel أكثر فاعلية فى ذلك من الأوكسينات (شكل ٢٠٨). وفى حالة التركيزات العالية من ethrel فإن النباتات تنتج أزهار مؤنثة فقط ولذلك لابد من ترك بعض النباتات بدون معاملة لإنتاج أزهار مذكرة لضمان عملية التلقيح. تنتج عادة الأزهار المؤنثة مبكراً وعلى العقد السفلية نتيجة لهذه المعاملة.

تستخدم هذه المعاملة فى نباتات اللوف والبطيخ والخيار والقاوون وغيرها من نباتات العائلة القرعية. تسبب هذه المعاملة زيادة الأزهار المؤنثة (شكل ٢٠٩) ولكنها قد تسبب صغر حجم الثمار الناتجة فى كثير من الحالات. ترش النباتات بهذه المركبات وهى صغيرة وحيث تتكون من ورقة أو إثنتين.



(شكل ٢٠٨) : تأثير الأثريل على عدد الأزهار المذكره والمؤنثه على نبات الخيار.

وجد أن بعض هذه السلالات من الخيار تكون مؤنثة أساساً gyneocious أى أنها تنتج أزهار مؤنثة أساساً مع عدد قليل من الأزهار المذكرة تكون غير كافية لعمل التلقيح. تعامل هذه النباتات بمركب الجبريللين لزيادة عدد الأزهار المذكرة وبذلك تتم عملية التلقيح بكفاءة عالية.



(شكل ٩٠٢): تأثير الأثريل على عدد الثمار الناتجة فى الخيار.

أنتاج أسديه وحبوب لقاح خصبة فى نباتات الطماطم العقيمة الذكر بالمعاملة بحامض الجبريلليك بتركيز ٣٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون.

يوجد فى الطبيعة بعض سلالات من العنب مذكرة تماماً ولاتنتج إلا أزهار مذكرة ولذلك لايمكن إكثار هذه السلالات بالبذور وتكون الطريقة الوحيدة لإكثارها بواسطة العقل. تعامل هذه السلالات بأحد مركبات السيتوكينين لتشجيع تكوين متاع الزهرة وبذلك تصبح الأزهار خنثى وتحدث عملية التلقيح وتكوين ثمار ذات بذور تستعمل هذه السلالات فى برامج تربية العنب.

٧- التحكم فى عقد الثمار Control of Fruit set :

يعتمد تكوين الثمار والبذور على نجاح عمليتى التلقيح والأخصاب. تعتبر هاتين العمليتين غير هامتين فى حالة الثمار التى تتكون بكرياً. فى بعض الحالات بالرغم من تكون الأزهار فإنها لاتثمر نتيجة لفشل علميتى التلقيح والإخصاب وينتج عن ذلك سقوط الأزهار ويكون ذلك نتيجة لوجود ظروف بيئية غير مناسبة أو عدم توافق الأزهار.

تعتبر عملية الإخصاب حافز ومنبه للمبيض والبويضات لتكوين الثمار والبذور وذلك عن طريق الهورمونات وخاصة الأوكسينات والتى يتم تخليقها بتركيز عال بداخل البذور أثناء تكوينها أى فى البذور الصغيرة السن الغير مكتملة young developing seeds. يعتبر الأندوسبرم هو مكان تخليق الأوكسين الأساسى بالنسبة للجنين حيث أن تركيز الأوكسين فى الأندوسبرم يكون أعلى من تركيزه فى الجنين أثناء تكوين البذور.

وفى حالة فشل الإخصاب لأى سبب تفشل البويضات فى تخليق الأوكسينات وبالتالى يتوقف تموين المبيض بالأوكسينات. وفى حالة عدم وجود تموين كاف من الأوكسين للمبيض لاينمو المبيض بدرجة طبيعية ولاتتكون ثمار حيث أن نمو المبيض يكون راجع بدرجة كبيرة إلى إستطالة أو كبر حجم الخلايا وفى حالات كثيرة تسقط هذه الزهرة.

تعتبر إستطالة الخلايا نتيجة لتأثير وعمل الأوكسينات . يرجع فشل الإخصاب إلى عدم تكوين حبوب لقاح أو تكوين حبوب لقاح عقيمة أو عدم وجود حشرات التلقيح أو فشل إنبات حبة اللقاح على الميسم أو تثبيط نمو أنبوبة اللقاح أثناء إختراقها القلم أوفشل إتحاد النواه الذكرية لحبة اللقاح مع نواه خلية البيضة أو عدم التوافق بين الزيجوت أو الجنين والأندوسبرم أو عقم الجنين أو الأندوسبرم أو كليهما. وفى جميع الحالات السابقة يمكن إستعمال منظمات نمو لتساعد فى تكوين مبيض

طبيعى يكون ثمرة طبيعية ولكنها خالية من البذور. تعتبر كثير من الثمار العديمة البذور الناتجة بهذه الطريقة مقبولة تجارياً وذات قيمة تسويقية كما فى ثمار الطماطم والتفاح وبعض القرعيات وخلافه ولكنها تكون غير مقبولة تجارياً فى حالة البندق واللوز وغيرها من الثمار التى يكون فيها تكوين البذور هى الأساس. فى حالة ثمار الطماطم والتفاح البكرية عديمة البذور وغيرها الناتجة عن المعاملة بمنظمات النمو تكون ذات لون وحجم ومذاق طبيعى عادة.

لاتكون ثمار الطماطم النامية فى الصوب فى الشتاء فى بلاد الشمال ثمار بكميات إقتصادية وذلك نتيجة لضعف إنتاج حبوب اللقاح لإنخفاض شدة الإضاءة وقصر طول النهار وغياب التلقيح الخلطى نتيجة لغياب تيارات الهواء وعدم حدوث التلقيح الذاتى لزيادة طول المتاع بدرجة كبيرة عن الأسدية. تعتبر درجة حرارة الليل عامل هام فى تكوين ثمار الطماطم فى الظروف العادية فى الحقل حيث أن إنخفاض درجة الحرارة عن ١٢ درجة مئوية تسبب إنتاج وإنبات ضعيف لحبوب اللقاح وينتج عن ذلك محصول قليل. أمكن حدوث نجاح باهر فى ذلك الصدد نتيجة لإستعمال منظمات النمو وخاصة بإستعمال مركب naphthoxyacetic acid ومركب PCPA وتركيبة parachlorophenoxyacetic acid ويسمى المركب الأخير أيضاً بإسم 4 -CPA أى 4 -chlorophenoxyacetic acid. يسبب هذين المركبين كفاءة عالية فى إنتاج ثمار بكرية أى عديمة البذور. يمكن إستخدام هذه المنظمات فى صورة مسحوق أومحلول مائى أو إيرسول . تعتبر هذه المركبات أكثر فاعلية عند رشها على الأزهار بالمقارنة برشها على جميع النباتات. يتم عمل هذه المعاملة على فترات حتى تمام تفتح الأزهار جميعها. قد تسبب هذه المعاملة تثبيط أو بطء نمو المجموع الخضرى. تحتاج أزهار الكمثرى والتفاح إلى تلقيح خلطى وأحياناً توجد عوامل بيئية غير ملائمة لحدوث التلقيح الخلطى مثل ظروف جوية غير مناسبة أو غياب عوامل التلقيح absence of pollinator وينتج عن ذلك عدم التلقيح والإخصاب وبالتالى عدم تكوين ثمار. يمكن إستخدام منظمات النمو فى هذه الحالة لإنقاذ المحصول.

ولذلك فإنه فى حالات كثيرة يمكن إستخدام منظمات النمو لتحل جزئياً أو كلياً محل عمليتى التلقيح والإخصاب عند وجود ظروف بيئية غير ملائمة لذلك.

ومن التحضيرات التجارية التى تشتمل على مخاليط من الأوكسينات وتستعمل فى تشجيع نمو المبيض كل من الفروتون Fruitone، وسيدلس ست Seed-less-set.

وتستعمل الأوكسينات بصفة خاصة فى تحسين العقد فى الطماطم والفاصوليا، كما أمكن دفع الفلفل، والباذنجان، والخيار، والكوسة، والقاوون للعقد بدون تلقيح بالمعاملة بالأوكسينات، لكن هذه المعاملات لم تستخدم تجارياً، لأن الأزهار لاتتكون دفعة واحدة كما فى الفاصوليا، ولا فى عناقيد كما فى الطماطم. كذلك أمكن إحداث عقد بكرى فى البطيخ بالمعاملة بالأوكسينات، لكن الثمار اللابذرية كانت صغيرة وذات جلد سميك وقليلة العصير، كما احتوت على بذور خالية من الأجنة، لكن شكلها كان كالبذور العادة. ولاتعطى منظمات النمو نتائج جيدة مع الخضروات التى تستهلك بذورها كالبقوليات الجافة. وفى حالة الطماطم، فإن تحسين العقد بالمعاملة بالأوكسينات قد يجعل الثمار المتكونة ذات جيوب داخلية فارغة بمواقع المشيمة فى المساكن، لكن هذه الحالة (يطلق عليها اسم الجيوب Puffiness) يمكن التخفيف من حدتها بمعاملة العناقيد الزهرية بمخلوط من الأوكسينات مع الجبريللينات، بدلا من الأوكسينات فقط.

يلقح تين كاليفورنيا calymyrna fig والذى يزرع فى كاليفورنيا حشرياً. حيث أن نورات هذا التين تحتوى على أزهار مؤنثة خصبة ولاتحتوى على أزهار مذكرة خصبة ولذلك يلزم تلقيحها بحشرات معينة وبإستعمال نورات تين برى بها أزهار مذكرة خصبة ولذلك دائماً يزرع التين كاليميرنا مع التين البرى لضمان حدوث التلقيح والإخصاب. وجد أن إستعمال مركب PCPA أو مركب 2,4,5-T يساعد على تكوين الثمار بكرياً ودون تلقيح وبالتالى لايوجد إحتياج لزراعة التين البرى كما أن المعاملة بهذه المركبات تسبب تكوين هذه الثمار مبكراً عن المعتاد (راجع هذا الموضوع بالتفصيل فى الأوكسينات).

تعتبر أصناف العنب ذات البذور كبيرة الحجم وهذه ميزة لهذه الأصناف بينما تكون الأصناف عديمة البذور صغيرة الحجم ولذلك يلزم تغير حجم حبات هذه الأصناف لتصبح كبيرة وهذا يلائم ذوق وطلب المستهلك. يمكن عمل ذلك بواسطة تحليق girdling ساق أصناف العنب البناتى ويستخدم فى ذلك الصنف تومسون النباتى Seedless Thompson . ولكن تستخدم الآن منظمات النمو فى هذه الحالة وحيث حلت محل عملية التحليق الغير مرغوبة لأنها مملة فى أدائها. يستخدم فى ذلك ٢–١٠ جزء فى المليون من PCPA فى وقت الإزهار الكامل full bloom . يرش النبات وخاصة الأوراق والأزهار. تسبب هذه المعاملة تكوين عناقيد مندمجة compact clustersوتصبح هذه العناقيد معرضة للإصابة بالفطريات والعفن. وقد تسبب هذه المعاملة نمو للبويضات داخل جدار الثمرة وتكوين بذور فارغة صلبة نسبياً empty hard seeds وتصبح هذه الثمار غير مرغوبة عند عمل الزبيب. يفضل الجبريللين فى هذه المعاملة حيث أنه يسبب تكوين ثمار كبيرة الحجم عديمة البذور ويسبب أيضاً تكوين عناقيد مثالية غير مندمجة وسائبة loose clusters . وتعليل ذلك أن الجبريللين يسبب زيادة فى طول أعناق الثمار وبالتالى يسبب تباعدها عن بعضها وترك فراغ كاف لكبر حجم الثمرة. يستخدم الجبريللين فى حالة العنب صنف تومسون بتركيز خمسون جزء فى المليون وينتج عن ذلك عناقيد غير مندمجة مرغوبة.

يعتبر وجود البذور فى الجوافة غير مفضل بالنسبة للمستهلك ولذلك يفضل عمل محاولات لإنتاج ثمار جوافة بناتى بدون بذور. يوجد فى مصر جوافة بناتى تتكون بكرياً.

تساعد الجبريللينات على عقد الثمار فى اليوسفى clementines والكمثرى. وتساعد السيتوكينينات فى تحسين عقد الثمار فى القاوون وقد أفاد أستعمال chlorflurenol رشة واحدة بتركيز ١٠ جزء فى المليون فى تحسين العقد فى الطماطم فى درجات الحرارة العالية.

٨- التحكم فى سقوط الأزهار والثمار والأوراق Control of Abscission :

فى بعض الحالات نحتاج إلى السقوط المبكر للأزهار أو الثمار أو الأوراق وفى حالات أخرى نحتاج إلى تأخير هذا السقوط. يحتاج سقوط الأزهار والثمار الصغيرة المبكر فى نبات القطن وعديد من أشجار الفاكهة إلى علاج. والعكس صحيح فى حالات أخرى حيث يفضل السقوط المبكر للثمار الناضجة أو الأوراق لتسهيل عملية الجمع الآلى. أحياناً تتكون ثمار غزيرة على بعض النباتات ويسبب ذلك خفض جودة هذه الثمار وصغر حجمها مما يجعلها أقل قبولاً لدى المستهلك وفى هذه الحالة يفضل عمل إجراء لسقوط نسبة من هذه الثمار وهى صغيرة أوسقوط للأزهار. راجع المركبات المختلفة المستخدمة فى ذلك فى مضادات الأوكسينات وغيرها.

أ- تشجيع سقوط الأوراق Promotion of Leaf Abscission:

يتفتح لوز القطن ولازالت أوراق النبات خضراء ولايمثل ذلك مشكلة عند جمع شعر القطن يدوياً ولكن يسبب وجود الأوراق مشكلة كبيرة عند جمع القطن آلياً. حيث أنه من شروط الجمع الآلى للقطن أن تكون النباتات خالية تماماً من الأوراق حيث أن وجود الأوراق يتداخل مع شعر القطن عند الجمع ويسبب ذلك خسارة كبيرة للقطن ورتبته. يتم ذلك برش النباتات بمركبات تسبب سقوط الأوراق أو مركبات تسبب جفاف الأوراق . تسبب المركبات التى تسقط الأوراق سهولة وسرعة سقوط الأوراق بينما تسبب المركبات المجففة للأوراق موت وجفاف الأوراق وهى لازالت ملتصقة بالنبات.

يعتبر الجمع الآلى للقطن أقل تكلفة من الجمع اليدوى فى كثير من الدول . ومن المركبات المستخدمة لسقوط الأوراق أو لتجفيفها هى endothal و chlorates الصوديوم أو المغنسيوم وسيناميد الكالسيوم calcium cyanamide ومركب sodium monochloracetate .

تسبب المركبات المسببة لسقوط الأوراق أو جفافها سرعة تفتح اللوز ويعتبر هذه ميزة أخرى. يستخدم حامض الأرسينك arsenic acid ومركب paraquat كمركبات مجففة فى حالة القطن. يسبب المركب المسبب لسقوط الأوراق ضرر للأوراق وسقوطها بينما يسبب المركب المجفف عملية دنتره للبروتوبلازم denaturing protoplasm ثم فقد للماء من الأوراق وأجزاء المجموع الخضرى الأخرى.

تستخدم بعض مبيدات الحشائش فى سقوط الأوراق فى أشجار الغابات وتستخدم كذلك فى أغراض حربية حيث أنها كانت تصنع لإستخدامها فى الحرب الكيماوية وذلك كما سبق ذكره فى الجزء الخاص بمبيدات الحشائش.

ب ـ سقوط الثمار Abscission of Fruit:

ومنها خف الثمار وأيضاً منع السقوط المبكر للثمار للمساعدة فى سقوط الثمار الناضجة.

حالة خف الثمار Thinning of fruits: تكون بعض الأشجار أثمار غزيرة وتصبح الشجرة غير قادرة على تغذية جميع هذه الثمار وبالتالى تصبح الثمار صغيرة الحجم ولا يكون لها اللون والطعم المعتاد. وفى بعض الحالات الأخرى مثل أشجار المانجو والتفاح يكون إنتاج الثمار غزير فى سنة ويصبح إنتاج الثمار نادر أو معدوم فى السنة التالية وتسمى هذه الحالة بالحمل كل سنتين biennial bearing وتسمى هذه الحالة لدى المزارعين فى أشجار المانجو بالمعاومة. يمكن التحكم فى هذه الحالة وذلك بخف الثمار وهى صغيرة فى سنة الحمل الغزير وينتج عن ذلك محصول متوسط فى هذه السنة وأيضاً فى السنة التى تليها.

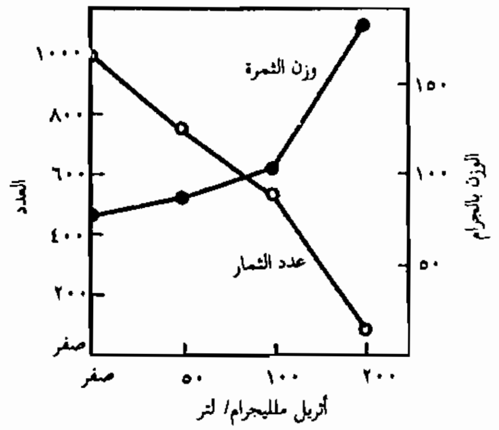
يمكن خف الثمار يدوياً ولكنه مرهق وغيرعملى وقد يكون مكلف فى الدول المتقدمة وأحياناً لايمكن عمله أو تطبيقه لإرتفاع الأشجار وتفرعها. ولذلك أستعملت المركبات الكيماوية فى هذا الصدد. يستعمل مركب dinitroorthocresol (DNOC) فى خف أزهار التفاح والخوخ حيث أن رشه على الأزهار المتفتحة يسبب

موتها. يعتبر خف الأزهار أفضل من خف الثمار الصغيرة . يستخدم الجبريللين فى ذلك أيضاً حيث أنه يشجع النمو الخضرى ويقلل من عدد الأزهار. وعملية خف الثمار عن طريق قتل الأزهار أو منع تكوينها تعتبر مضللة فى كثير من الأحيان حيث لايمكن التكهن بعدد الأزهار التقريبى المتبقى وبمعنى آخر فقد يكون الخف زائد وجائر ويسبب نقص المحصول وقد يكون الخف ضعيف فيكون تأثيره ضعيف ويوجد حمل زائد للشجرة. ولذلك يفضل عمل إختبار على مدى ضيق لمعرفة التركيز المناسب ثم يتم إستعمال هذا التركيز على نطاق واسع فى الحديقة أو الحدائق. وعامة يفضل الخف مبكراً جدا وحتى يمكن التعرف على عدد الأزهار المتبقية. يستخدم نفثالين حامض الخليك فى هذه الحالة فى التفاح والكمثرى والعنب وغيرها. يرش هذا المركب بعد تمام عقد الثمار. تتوقف درجة الخف على تركيز الأوكسين المستعمل . تتحكم الظروف الجوية فى مدى فاعلية التركيز وشدته.

تؤثر المركبات التى تستعمل فى خف النبات بطريقة أو أكثر من الطرق الآتية . تمنع إنبات حبوب اللقاح ونمو أنبوبة اللقاح. تتداخل فى إنتقال الغذاء إلى الثمار الصغيرة وتقلل من عملية الإنتقال. تسبب حدوث عقم للبذور وعدم تكوينها حيث أنها تثبط من تكوين الأندوسبرم أو الجنين أو كليهما . تسبب سقوط مباشر للثمار.

تكون بعض أصناف العنب عناقيد مندمجة معرضة للعفن وخاصة أثناء النقل. يستخدم نفثالين حامض الخليك فى عمل الخف فى هذه الحالة ويتم الرش فترة عقد الثمار. رش حامض الجبريلليك قبل تفتح الأزهار يسبب تكوين عناقيد عادية وبذلك يقل العفن. يسبب أيضاً نمو عادى لنباتات العنب المندمجة compact bunches. يستخدم فى ذلك أيضاً ethephon أو morphactin ولكنها تسبب سقوط الثمار الصغيرة وبذلك تقلل من تزاحم حبات العنب فى العنقود ويصبح العنقود عادى ويقل العفن.

يستخدم نفثالين حامض الخليك أو مركب NAD فى خف الثمار الصغيرة للتفاح والكمثرى. يستخدم ethrel فى حالة الخوخ وهو يساعد أيضاً فى زيادة حجم الثمرة (شكل ٢١٠).



(شكل ٢١٠) : تأثير الخف بالأثريل علي ثمار الخوخ .

هـ - حالة منع السقوط المبكر للثمار Prevention of Pre-harvest Fruit Drop:

تتساقط الثمار قبل نضجها بعدة أيام من الأشجار وذلك فى حالة بعض النباتات ومما يسبب خسارة فى المحصول . يمكن إستخدام منظمات النمو لمنع سقوط الثمار قبل نضجها . تحدث هذه الحالة فى التفاح والكمثرى والمانجو وغيرها . تعتبر حالة سقوط الثمار المبكر فى التفاح نتيجة لنقص الأوكسين ولذلك يرش النبات وليست الثمار فقط بنفثالين حامض الخليك بتركيز عشرة ملليجرام لكل لترقبل حدوث ذروة سقوط الثمار بحوالى ثلاث أيام. يمكن أن ترش النباتات بواسطة2,4,5 trichlorophenoxypropionic acid (2,4,5-TP) وهو أيضا فعال فى ذلك ويعتبر أكثر ثباتا more persistent عن المركب السابق ولذلك يكفى رشه مره واحدة بهذا المركب وعادة نحتاج إلى رشتين بالمركب السابق. يمكن أيضا إستخدام B-Nine بتركيز ألف إلى ألفين جزء فى المليون ppm وذلك برشه على النبات قبل شهر من

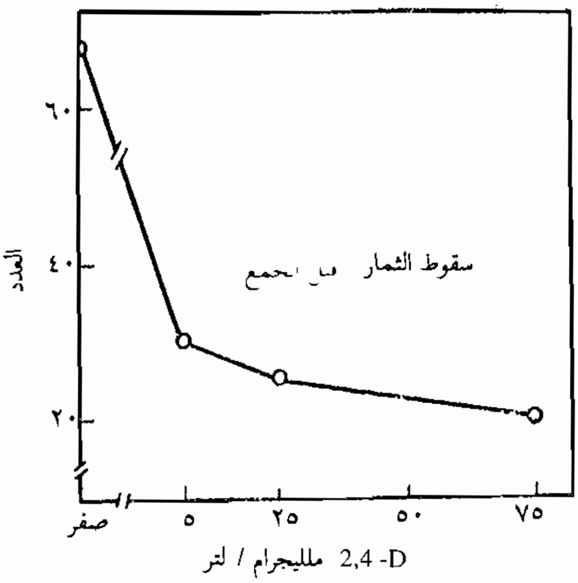
ذروة سقوط الثمار ويفيد هذا المركب علاوة على ذلك فى تكوين لون طبيعى للثمار وفى زيادة مدة تخزين ثمار التفاح. يمكن أستخدام محلول مائى من 2.4-D لعلاج ظاهرة سقوط الثمار المبكر فى البرتقال Valencia و Naval والجريب فروت (شكل ٢١١). يمكن إستخدام نفثالين حامض الخليك و2,4 -D فى تقليل سقوط الثمار المبكر فى المانجو وتتوقف درجة نجاح هذه الحالة على الصنف حيث أن درجة السقوط تختلف بإختلاف الصنف المعامل. ومن المفارقات فى حالة المانجو أنه فى بعض الحالات نتيجة للمعاملة بالأوكسين يقل سقوط الثمار وفى نفس الوقت تساعد سقوط الثمار الصغيرة أى الثميرات Post-bloom fruitlets المتكونة متأخرا والعديمة الفائدة والقيمة الأقتصادية.

د ـ تشجيع سقوط الثمار الناضجة Promotion of Fall of Mature Fruits:

يكون فى بعض الحالات فى بعض النباتات من الصعب سقوط الثمار بسهولة. أحيانا نحتاج إلى هز أشجار المانجو لنساعد على سقوط الثمار ويمكن أن يحدث ذلك أيضا فى الجوافة أحيانا لا يجرى هز الأشجار فى سقوط الثمار ولذلك يلجأ إلى إستعمال منظمات النمو. يمكن إستعمال ethephon حيث أنه يساعد على إلتصاق الثمار بالنبات بدرجة معتدلة ويستخدم بتركيز ألف إلى ألفين ملليجرام لكل لتر ماء أى ألف إلى ألفين جزء فى المليون ppm وحيث يتم الرش قبل أسبوعين من موعد الجمع ويستخدم فى حالة التفاح والكمثرى والبرتقال. تستخدم هذه الحالة أيضا فى سقوط ثمار الزيتون وذلك بواسطة مركب etacelasil.

٩ ـ بلوغ ونضج الثمار Maturity and Ripening of Fruits:

يحتاج المزارع فى كثير من الأحيان تبكير أو تأخير الأثمار فى أول الموسم وآخره وحيث تكون الأسعار مرتفعة حيث أن الأسعار فى أثناء الموسم تكون منخفضة.



(شكل ٢١١) : تأثير D- 2,4على سقوط الجريب فروت قبل الجمع.

أ - تبكير النضج Promotion of Ripening:

يمكن تبكير البلوغ والنضج فى ثمار التين بواسطة رش النبات بمركب 2,4,5-T. وفى حالة التفاح يمكن تبكير الأثمار لمدة تتراوح بين أسبوع إلى أربعة أسابيع وذلك بإستعمال المركب السابق وأيضا بإستعمال B-nine وفى حالة العنب يستعمل ethephon حيث أنه علاوة على ذلك يزيد تركيز الأنثوسيانين فيعطى الحبة مظهر جذاب ويقلل الحموضة فيكون المذاق والطعم أفضل وذلك فى بعض أصناف العنب.

لا تنضج ثمار الطماطم فى أن واحد على النبات الواحد وبذلك يصعب الجمع الآلى ولذلك يستعمل ethephon من أسبوع إلى أسبوعين قبل الجمع. يمكن إستخدام B-Nine أيضا. وذلك لتوحيد موعد النضج بقدر الأمكان.

يمكن إستخدام الدخان لإصفرار ونضج ثمار الموز وحيث أن المركب الفعال فى الدخان هو الأثيلين. يستخدم أيضا كاربيد الكالسيوم calcium carbide لنضج الموز

والمانجو حيث أن acetylene يتحرر من هذا المركب. يمكن غمر الثمار فى محلول من الأوكسين حيث يساعد ذلك على أنتاج الأثيلين.

يستخدم ethephon بكثرة وبكفاءة عالية فى ذلك وخاصة فى الموز كما يستخدم فى تغيير لون ثمار البرتقال من الأخضر إلى البرتقالى.

ب ـ تأخير النضج Delay of Ripening:

تحتاج الثمار تأخير نضجها أثناء عمليات النقل والتخزين. يمكن زيادة عمر الثمار ذات القمة فى التنفس climacteric مثل التفاح والموز وغيرها بمنع تراكم الأثيلين داخل وخارج الثمار لأطول مدة ممكنة وبالتالى أيضا يتأخر حدوث القمة فى التنفس . يمكن عمل ذلك بتخزين الثمار فى تركيز قليل من الأوكسجين ٢-٣ ٪ أو بإمتصاص الأثيلين بواسطة الألومينا alumina أو سيليكاجل silica gel المشبعة ببرمنجنات البوتاسيوم. يتبع ذلك زيادة فترة تخزين الثمار. والفكرة فى ذلك أن الأثيلين الناتج عن الثمار يتم أكسدته بواسطة برمنجنات البوتاسيوم إلى إيثيلين جليكول ويتم إختزال برمنجنات البوتاسيوم إلى أوكسيد منجنيز. يعتبر ثانى أوكسيد الكربون مثبط تنافسيا للأثيلين وبالتالى يؤخر نضج الثمار ويزيد من فترة التخزين. ولكن التركيزات المرتفعة من ثانى أوكسيد الكربون غير مفضلة فى تخزين ثمار التفاح حيث أنها تسبب تغيير فى لون الثمار من الداخل وينتج عن ذلك مرض القلب البنى brown heart . ولكن العكس صحيح فى حالة ثمار العنب والشليك والبرقوق حيث أنها لا تتأثر عادة بالتركيز المرتفع من ثانى أوكسيد الكربون وبالتالى يمكن زيادة فترة تخزين هذه الثمار بتخزينها فى جوبه ١٥ إلى ٢٠ ٪ ثانى أوكسيد الكربون.

يمكن أيضا إطالة فترة التخزين عند إستعمال درجات حرارة منخفضة. حيث أن درجة الحرارة المنخفضة تقلل من سرعة التنفس والنشاط الأنزيمى وبالتالى تقلل من سرعة التفاعلات التى تسبب عملية النضج. يتم جمع ثمار الموز وهى بالغة تماما

fully mature وتكون خضراء غير ناضجة وأثناء شحنها بالبواخر فإنها تخزن على درجة حرارة بين ١٠ـ١٢ درجة مئوية وعند ميناء الوصول فإنها توزع علي الأسواق وحيث أن درجة الحرارة عادية فتحدث عملية النضج. يمكن إسراع عملية النضج في ميناء الوصول بمعاملة الثمار بالأثيلين.

يمكن تأخير نضج البرتقال علي الأشجار ليباع بسعر مرتفع في آخر الموسم وذلك برش الأشجار بالجبريللينات حيث أنها تؤخر من شيخوخة القشره في الثمار.

١٠ ـ تأخير الشيخوخة Delaying of Senescence:

تعتبر فترة تخزين الخضروات الورقية مثل الكرنب والخس والكرفس والبقدونس والأسبرجس والبصل الأخضر قليلة. حيث أن الأوراق تذبل وقد تصفر أو يصبح لونها باهت وبالتالى يكون طعمها غير مقبول. يمكن معاملة هذه الخضر بالسيتوكينينات مثل الكينتين وأيضا معوقات النمو لزيادة فترة التخزين. يمكن رش هذه المركبات على النبات فى الحقل قبل الجمع أو يمكن غمر هذه الأجزاء فى محلول من هذه المركبات بعد الجمع وقبل التعبئة والنقل والتسويق. يمكن أيضا عمل ذلك فى حالة عيش الغراب وزهور القطف والفازات. يمكن غمر البروكولى والكرفس والأسبرجس فى benzyladenine بعد الجمع. من ذلك يتضح أنه يمكن تأخير شيخوخة الأوراق فى الخضر الورقية برشها بالسيتوكينينات مثل الخس والكرفس والأسبرجس. يمكن أيضاً خفض سرعة التنفس نتيجة لهذه المعاملة كما فى الكرنب والبروكولى والهليون وينتج عن ذلك إطالة فترة أحتفاظها بنضارتها لعدة أيام. يؤدى غمس هذه الخضر فى محلول بنزيل أدينين بتركيز ٥–١٠ جزء فى المليون إلى خفض سرعة التنفس بقدر مماثل لما يحدث عند خفض درجة حرارة التخزين إلى ٥٫٦ مئوية. يحدث نفس التأثير لأوراق القنبيط عند إستخدام خليط من السيتوكينين والأوكسين.

١١ ـ منع الرقاد Prevention of Lodging :

يمكن أن يحدث الرقاد بكثرة فى النباتات النجيلية خاصة فى حالة التسميد الأزوتى الغزير والإسراف فى الرى. يستعمل فى ذلك مركب CCC حيث أنه يسبب قصر السلاميات وبالتالى يصبح النبات قصير ومقاوم للرقاد. يلاحظ أن هذا التأثير يحدث دون أى ضرر على تكوين الأوراق أو الأزهار ودون تأثير على المحصول. تستجيب جميع المحاصيل النجيلية لهذه المعاملة بدرجة كبيرة وبنجاح. تكون المعاملة فى صورة رش للمجموع الخضرى أو يتم تبليل أو رى التربة soil drench بمحلول هذا المركب يتم ذلك بنجاح فى القمح والشعير والزمير والأرز.

١٢ ـ تنشيط إنسياب اللاتكس Stimulation of Latex Flow :

يتم الحصول على المطاط من نباتات خاصة أهمها *Hevea brasiliensis* يتم عمل شق حلزونى فى قلف ساق الشجرة . ينتج عن هذه المعاملة إنسياب لاتكس المطاط من القنوات الأفرازية laticiferous ducts الموجودة فى داخل ساق النبات إلى سطح الساق. يعتبر التجلط السريع للاتكس أحد مشاكل الأنتاج. حيث أن اللاتكس يتجلط سريعا على سطح الساق ويسبب سد القنوات الأفرازية وبالتالى يتوقف إنسياب اللاتكس . وقد وجد أن معاملة ساق النبات بعديد من المركبات تسبب إستمرارية إنسياب اللاتكس وعدم التجلط ومن هذه المركبات 2,4 -D و2,4,5-T والأثريل. يتم دهان منظم النمو على الأجزاء المشقوقة من الساق. تسبب المعاملة بهذه المركبات إستمرار إنسياب اللاتكس ولكنها لاتسبب زيادة كميته. يعتقد أنها تمنع أو تبطء ألتئام الجروح.

١٣ ـ إنبات البذور الساكنة:

وجدت علاقة قوية بين إنبات البذور وأربع مجاميع من منظمات النمو هى:

١ ـ **الجبريللينات**: وهى أكثر منظمات النمو تأثيراً على إنبات البذور. فمثلا. وجد فى حبوب الشعير أن أمتصاص الحبوب غير الساكنة للماء يؤدى إلى ظهور الجبريللين

فى الجنين، ثم انتقاله إلى طبقة الأليرون، حيث يؤدى إلى تكوين إنزيم ألفا أميليز amylase الذى ينتقل إلى الإندوسبرم، حيث يساعد فى تحول النشا إلى سكر، الذى ينتقل بدوره إلى أماكن نمو الجنين لإمداده بالطاقة اللازمة للنمو. كما يعمل الجبريللين على إنتاج أو تنشيط إنتاج إنزيمات أخرى فى حبوب الشعير.

٢. **حامض الأبسيسك:** يمكن لهذا الهرمون الطبيعى وقف تأثير الجبريللين المحفز للإنبات. وتدل الدراسات التى أجريت على حبوب الشعير أن حامض الأبسيسك يوقف تأثير الجبريللين المحفز لإنتاج إنزيم ألفا أميليز بمنعه من تمثيل أو تخليق RNA.

٣. **السيتوكينينات:** تتحكم السيتوكينينات فى إنبات البذور (ربما على مستوى تمثيل البروتين) وفى بعض النباتات يمكن للسيتوكينينات التغلب على تأثير حامض الأبسيسك المثبط لفعل الجبريللين.

٤. **الإيثيلين:** سبق ذكر أن للإيثيلين علاقة بإنبات البذور فى القليل من النباتات.

ويعتقد معظم علماء فسيولوجيا النبات أن الإنبات يتوقف على وجود توازن ديناميكى بين منظمات النمو المشجعة والمثبطة للإنبات بالبذور. وتعتبر الجبريللينات من أكثر مشجعات الإنبات، وحامض الأبسيسك من أكثر مثبطات الإنبات تأثيراً. هذا ولا تنبت بذور الخس من صنف جراند رابيدز Grand Rapids فى الظلام، ولكن الإنبات يحدث عند معاملة البذور بالجبريللين. وتؤدى إضافة حامض الأبسيسك مع الجبريللين إلى وقف تأثير الجبريللين. كما تؤدى إضافة الكينتين إلى وقف فعل حامض الأبسيسك جزئياً، كما أنه لايزيد من فعل الجبريللين. كما يحدث إنبات كامل لبذور نفس الصنف فى الضوء، ولكن حامض الأبسيسك يمنع هذا الإنبات فى الضوء. وتتناسب شدة التأثير على الإنبات مع تركيز الحامض. ويتحسن الإنبات جزئياً عن إضافة الكينتين.

١٤ ـ تأقلم النباتات لظروف الجفاف:

وجد من الدراسات المبكرة التى عوملت فيها النباتات ببعض مثبطات النمو، مثل chlormequat و phosphon و phosphon S و daminozide أن هذه المعاملات أدت إلى زيادة الوزن الجاف للجذور. كما أدت المعاملة بالـ chlormequat إلى خفض معدل النتح من وحدة المساحة من الأوراق، بينما أدت منظمات النمو الأخرى إما إلى زيادة معدل النتح، أو عدم التأثير فى هذا الشأن. ومن الطبيعى أن زيادة النمو الجذرى مع نقص النمو الخضرى يؤديان إلى زيادة مقدرة النباتات على تحمل ظروف الجفاف. هذا ويؤدى حامض الأبسيسك إلى غلق الثغور، وخفض معدل النتح. كذلك استخدمت مضادات النتح antitranspirants، وهى التى تزيد من مقدرة النباتات على تحمل ظروف الجفاف، إما عن طريق غلقها للثغور، أو بتغطيتها لسطح الأوراق بغشاء رقيق غير منفذ للرطوبة.

هذا وتوجد ثلاث طرق لخفض معدل النتح فى النباتات هى:

أ ـ المعاملة بمواد مثل اللبن النباتى latex، والسيليكون silicon لتغطية سطح الأوراق.

ب ـ استعمال مواد تؤدى إلى غلق الثغور، مثل حامض الأبسيسك.

حـ ـ المعاملة بمواد تؤدى إلى نقص النمو الخضرى وزيادة النمو الجذرى، مثل مثبطات النمو.

ومن أمثلة المركبات التى استخدمت كمضادات للنتح مايلى:

المركب	النباتات التى عوملت به
Abscisic Acid	الشعير ـ الفاصوليا ـ الموالح ـ الخيار ـ الفلفل ـ الطماطم
Alachlor	الذرة
Alkenylsuccinic acid	الدخان
Chlormequat	عباد الشمس – الطماطم

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

https://www.facebook.com/groups/Biothesis/

https://www.researchgate.net/profile/Salam_Ewaid/

07807137614



2-Chloromercuri-4,6-dinitrophenol	الداتوره
Daminozide	الطماطم
2,4-dinitrophenol	الطماطم
8-hydroxyquinoline	الطماطم – الشليك
Indoleacetic acid	الطماطم
Chloreflurenol, methyl ester	الذرة
Phenylmercuric acetate	القطن – الدخان – الطماطم
Salicyladoxime	الداتوره

١٥ ـ تأقلم النباتات للصقيع:

أجريت محاولات لاستعمال مثبطات النمو فى زيادة مقاومة النباتات للصقيع. ولقد وجد مثلاً أن أضرار الصقيع تنخفض بوضوح فى الكرنب الذى يعامل قبل تعرضه للحرارة المنخفضة بأى من الـ chlormequat، أو الـ daminozide. كذلك تفيد المعاملة بالـ chlormequat فى تقليل أضرار الصقيع فى الطماطم.

تشجيع نمو الكرفس فى الجو البارد بالمعاملة بحامض الجبريلليك بتركيز ١٥٫٥ جم للفدان ويعامل الروبارب بتركيز ٢٥٠ جزء فى المليون.

كما وجد أن حامض الأبسيسك يلعب دوراً فى مقاومة الخيار للبرودة. ويمكن أن يحدث ذلك التأثير بالمعاملة بالحامض أو بزيادته داخلياً فى النباتات بتعريضها لظروف الجفاف.

وتفيد المعاملة بالـ 2-amino-6-methylbenzoic acid بمعدل نحو ٢٢٥ جم للفدان فى زيادة المقاومة للصقيع فى القمح والدخان والعنب.

وتفيد المعاملة بمركبات الـ polyamine مثل الـ alkylene diamines ذات السلاسل الطويلة فى حماية العديد من النباتات من أضرار الصقيع والبرودة، كما فى

فول الصويا، وفاصوليا الليما، والفاصوليا، والفود السودانى، والسبانخ، والخس، والطماطم.

كذلك تفيد المعاملة بأى من المركبات التالية فى إحداث زيادة جوهرية فى عدد نباتات الكوسة الزوكينى التى تتحمل دورة صقيع مدتها ٢٤ ساعة.

5-Chloro-4-quinoline carboxylic acid

2-Chloro-4-quinoline carboxylic acid

2-trifluromethylquinoline carboxylic acid

١٦ ـ مقاومة الحشائش Weed Control :

سبق الحديث عنها في الأوكسينات.

١٧ ـ زيادة حجم الثمار Enlargement of Fruit Size :

يوجد مستحضر أسمه بروماالين promalin يتكون من مخلوط السيتوكينين وحامض الجبريلليك وجبريللين ٧ ويكون هذا المخلوط نشط جدا في زيادة حجم ثمار التفاح وخاصة الصنف Red Delicious الجبر يللين والعنب النباتى.

١٨ ـ تحسين صفات المحصول Advanced Cropping :

في حالة الخرشوف و rhubarb و ذلك بالرش بالجبريللين.

١٩ ـ تحسين عمل malting في الشعير:

وذلك بأضافة الجبريللين لحبوب الشعير وحيث يزيد الجبريللين من نشاط أنزيم الأميليز وبذلك يساعد على حدوث عملية malting.

٢٠ ـ مزارع الأنسجة Tissue Cultures :

تعرف مزارع الأنسجة بأنها زراعة أي جزء من النبات في ظروف بيئية معقمة

على بيئات صناعية وهذه الأجزاء هي الجذر والساق والأوراق والمبيض والبويضات والمتك والأنسجة وحبوب اللقاح والخلايا المفردة والبروتوبلاست.

أستعملت مزارع الأنسجة كثيرا في المحاصيل البستانية والحقليه لإنتاج نباتات ذات صفات مرغوبة وقد أستعملت أيضا في أمراض النبات لإنتاج نباتات خالية من الأمراض أو مقاومة لها .

تعتبر البيئات هي الأساس في مزارع الأنسجة وتتميز بما يأتي:

١ ـ تحتوي علي مصدر للكربون مثل السكروز.

٢ ـ تحتوي علي مصدر للأزوت مثل النترات.

٣ ـ تحتوي علي أملاح وهي مصدر للعناصر المغذية.

٤ ـ تحتوي علي فيتامينات مثل الثيامين أو حامض nicotinic .

٥ ـ تحتوي علي أحماض أمينية مثل الجليسين.

٦ ـ تحتوي عادة على منظمات للنمو مثل الكينتين أو أندول حامض الخليك أو 2,4-D .

يتضح مما سبق أن منظمات النمو هي من المكونات الرئيسية للبيئات اللازمة لمزارع الأنسجة حيث أنه من النادر أن لا تحتوي البيئة على منظمات النمو. وفيما يلي تركيب أحد البيئات اللازمة لزراعة الكالس (جدول ١٦).

ملخص لتأثير منظمات النمو على النباتات

تنشأ كثير من التطبيقات والمعاملات الزراعية نتيجة لدراسة علم فسيولوجيا النبات تعتبر المعاملة بمنظمات النمو أحد هذه التطبيقات المبنية على دراسة علم فسيولوجيا النبات (جدول ١٧):

(جدول ١٦) : تركيب بيئة تستعمل لزراعة الكالس

المكونات	التركيز (ملليجرام/ لتر)
أملاح معدنية	
كبريتات الأمونيوم	٧٩٠
نترات الكالسيوم	٢٩٠
كبريتات المغنسيوم	٧٣٠
كلوريد بوتاسيوم	٩١٠
نترات بوتاسيوم	٨٠
نترات صوديوم	١٨٠٠
كبريتات صوديوم	٤٥٠
فوسفات صوديوم ثنائية الأيدروجين	٣٢٠
حامض بوريك	١,٥
كبريتات نحاس	٠,٠٢
كلوريد المنجنيز	٦
يوديد البوتاسيوم	٠,٧٥
كبريتات الزنك	٢,٦
حامض المولبديك	٠,٠٠١٧
كلوريد الحديديك	٣,١
أثيلين ثنائي الأمين رباعي الخلات الصوديومي *EDTA*	٨
فيتامينات وأحماض أمينية	
ميسو إينوسيتول *meso*-inositol.	١٠٠
جليسين	٣
ثيامين	٠,١
كلوريد البيريدوكسين	٠,١
حامض nicotinic	٠,٥
منظمات النمو	
2,4 -D	٠,١٥
كينتين	٠,١٥
مصدر الكربون	
سكروز	٢٠ جرام
آجار	٢٠ جرام

(جدول ١٧) : بعض التأثيرات نتيجة المعاملة بمنظمات النمو

التأثير بعد المعاملة بمنظم النمو	الأوكسينات	الجبريللينات	السيتوكينينات	حامض الأبسيسك	الأثيلين
١ ـ حدوث الأنتحاء	نعم	نعم	لا	نعم أحيانا	نعم
٢ ـ أنتحاء غمد الريشة فى الشوفان.	نعم	لا	لا	لم تختبر	لم تختبر
٣ ـ يؤثر على نمو أجزاء مقطوعة من غمد الريشة للشوفان والقمح.	نعم	نادرا	نادرا	يثبط	لا
٤ ـ أستطالة الخلية فى مزارع الأنسجة.	نعم	نعم أحيانا	نعم	لا	لا
٥ ـ حدوث التشكل فى مزارع الأنسجة.	نعم	نعم	نعم	لا	لا
٦ ـ تشجيع تكوين البراعم على العقل الورقية والحزازيات.	لا	لا	نعم	لا	لا
٧ ـ تنشيط تجذير العقل.	نعم	لا	متغير	نعم أحيانا	نعم
٨ ـ تثبيس نمو الجذور.	نعم	لا	لم يدرس	نعم	نعم
٩ ـ تثبيط أنقسام خلايا الكمبيوم.	نعم	نعم	نعم	قد يثبط	لا
١٠ ـ تشجيع تشكل خلايا الخشب.	نعم	نعم	نعم	نعم أحيانا	لم يدرس
١١ ـ لها تأثير على الجنس فى الزهرة.	نعم	نعم	لا	لا	نعم
١٢ ـ يؤثر على سقوط الأوراق والثمار.	نعم	تأثيرغيرمباشر	أحيانا	نعم أحيانا	نعم
١٣ ـ يشجع نمو الثمار.	نعم	نعم	نعم	لا	لا

تابع (جدول ١٧) : بعض التأثيرات نتيجة المعاملة بمنظمات النمو

التأثير بعد المعاملة بمنظم النمو	الأوكسينات	الجبريللينات	السيتوكينينات	حامض الأبسيسك	الأثيلين
١٤ ـ حدوث تكوين الثمار بكريا.	نعم	نعم	أحيانا	لا	لا
١٥ ـ تنشيط نمو الساق السليم (نبات كامل) فى الضوء.	لا	نعم	لا	لا يثبط	يثبط
١٦ ـ عكس تأثير الضوء المثبط لنمو الساق.	لا	نعم	لا	لا	لا
١٧ ـ يحل محل البرودة أو النهار الطويل اللازم للأزهار.	لا	نعم	لا	لا	لا
١٨ ـ يشجع أستطالة الساق والأزهار فى النباتات المتوردة ذات الحولين.	لا	نعم	نبات واحد فقط	لا	لا
١٩ ـ تشجيع الأزهار فى أنواع أخرى من النباتات.	نعم	يثبط نسيا التفاح	لا	لا	نعم
٢٠ ـ الشفاء من حالة التقزم الوراثى.	لا	نعم	لا	لا	لا
٢١ ـ كسر سكون البراعم.،	لا	نعم	أحيانا	لا	أحيانا
٢٢ ـ يشجع أنبات البذور المحتاجة للضوء.	لا	نعم	أحيانا	لا يثبط	نعم
٢٣ ـ يشجع أنبات البذور عامة.	لا	نعم	لا	لا يثبط	أحيانا
٢٤ ـ يساعد على تخليق ألفا أميليز فى الحبوب.	لا	نعم	أحيانا	لا يثبط	لا
٢٥ ـ يساعد على أتساع أقراص مقطوعة من الأوراق.	لا	أحيانا	أحيانا	لا	لا
٢٦ ـ لها تأثير فى أستمرارية السيادة القمية.	نعم	نعم	لا يكسر السياده	لم يدرس	أحيانا

تابع (جدول ١٧) : بعض التأثيرات نتيجة المعاملة بمنظمات النمو

التأثير بعد المعاملة بمنظم النمو	الأوكسينات	الجبريللينات	السيتوكينينات	حامض الأبسيسيك	الأثيلين
٢٧ ـ تثبيط نمو أجزاء من النبات مثل الجير والسويقة السفلى.	أحيانا	قليلا	لا	نعم	نعم
٢٨ ـ تشجيع غلق الثغور.	لا	لا	لا ـ يساعد الفتح	نعم	لا
٢٩ ـ منع هدم البروتين والكلوروفيل أثناء الشيخوخة.	أحيانا	أحيانا	أحيانا	لا (يشجع الهدم)	لا (يشجع الهدم)
٣٠ ـ حدوث epinasty فى الأوراق.	نعم	لا	لا	لا	نعم
٣١ ـ تثبيط أنتقال الأوكسين فى النبات.	—	لا (قد يشجع)	لا	لا	نعم
٣٢ ـ تشجيع التنفس ذو القمة أثناء نضج الثمار.	لم يدرس	لا	لا	لا	نعم

تعتبر الأوكسينات من أوائل المركبات التى أستعملت على نطاق عملى تجارى. يعتبر أستعمال الأوكسينات لتشجيع عملية تجذير العقل وأنتاج الثمار بكريا وتشجيع عقد الثمار fruit set من الأستعمالات الهامة للأوكسينات وأيضا أن تستعمل فى خف الثمار لتحسين المحصول ومثال لهذه الحالة أستعمال بعض الأوكسينات لخف ثمار التفاح صنف Golden Delicious . ينتج هذا الصنف الثمار سنة ثم لا ينتج ثمار السنة التالية وهكذا بأستمرار ويمكن التغلب على هذه الحالة بخف الثمار ويمكن أن يكون ذلك بأستخدام الأوكسينات حيث ينتج هذا الصنف الثمار سنويا وبذلك يزيد متوسط محصول الشجرة وتكون المعاملة بواسطة أوكسينات تركيبية بعد الأزهار بفترة قصيرة حيث يسبب ذلك نقص عدد الأزهار والثمار. وقد أمكن عمل هذه المعاملة برش الأشجار بـ ٢٥٠ جزء فى المليون من مركب sevin وتركيبه 1- naphthyl N - methyl carbamate وذلك برشه بعد الأزهار بخمسة عشر يوما فى سنة الأزهار الغزير وتسبب هذه المعاملة خف الأزهار والثمار فى هذه السنة مع حدوث أثمار عادى فى السنة التالية. يمكن أيضا أستعمال نوعين من الأوكسينات فى هذه المعاملة حيث ترش الأشجار بعد ١٧ يوم من الأزهار بواسطة ٣٤ جزء فى المليون من مركب NAD وتركيبه naphthaleneacetamide ثم يرش بعد ذلك بخمسة أيام بواسطة ٥٠٠ جزء فى المليون بمركب sevin. يمكن عمل عكس هذه الحالة فى بعض أصناف التفاح والتى تتميز بسقوط كثير من الثمار قبل فترة الجمع وبذلك يكون الفقد فى الثمار كبير ولكن عند رش هذه الأشجار بواسطة نفثالين حامض الخليك فأن هذه المعاملة تمنع تساقط الثمار وبذلك يزداد محصول الشجرة نتيجة لعدم سقوط الثمار. تستعمل الأوكسينات علاوة على ذلك أستعمالات كثيرة لزيادة كثافة النمو وكمية المحصول (جدول ١٨).

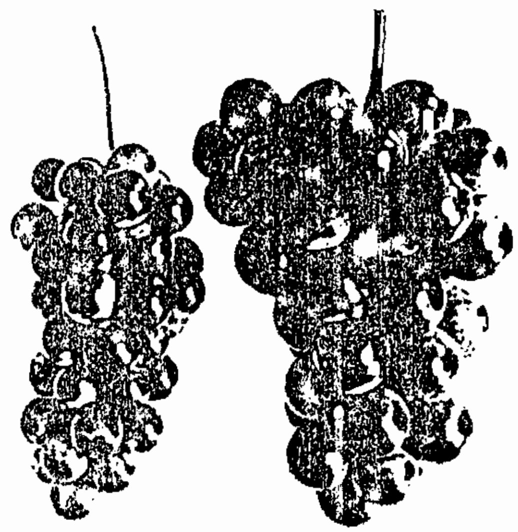
تستخدم الجبريللينات بكثرة فى حالات عديدة ومنها أنتاج ثمار بكريا بدون بذور ومثال ذلك صنف التفاح Wealthy حيث أنه بأستعمال جبريللين ٤ بتركيز ١٠$^{-٢}$ جزيئى يسبب تكوين ثمار تفاح بكريا بدون بذور كما أنها تكون أكبر حجما.

تسبب المعاملة بالجبريللين زيادة المحصول أى كمية الجمع وتحسين شكل الثمار والعناقيد كما فى العنب وعامة فأن التركيز ١٠ جزء فى المليون يكون مناسب للصنف Zinfandel.

ولكن التركيزات العالية مثل ألف جزء فى المليون يكون لها تأثير عكسى وتكون عناقيد قليلة الحبات. يوجد للجبريللينات تأثيرات كثيرة (جدول ١٩).

لا تستخدم السيتوكينينات بكثرة فى هذه الأغراض ولكنها تستعمل فى زيادة عمر بعض الخضر الورقية.

تستخدم معوقات النمو لمنع النمو الخضرى الزائد لأنتاج البذور فى بعض النباتات وأيضا لعدم زيادة حجم النبات لتسهيل الجمع فى بعض الحالات. بعض منظمات النمو مثل ماليك هيدرازيد فعاله فى منع تزريع أى نبت بعض المحاصيل الجذرية ودرنات البطاطس أثناء التخزين. يمكن أيضا زيادة حجم الثمار بعمل تضاعف للنبات وذلك بأستخدام الكولشسين حيث أن النباتات المتضاعفة تكون ثمارها أكبر حجما ومثال ذلك العنب حيث تكون العناقيد أكبر حجما (شكل ٢١١أ) حيث يكون عدد الثمار فى العنقود أكبر حجما وأكثر عددا.



(**شكل ٢١١أ**): تأثير الكولشسين على عنقود العنب. يسبب الكولشسين تضاعف من حالة diploid (شمال) إلى حالة tetraploid (يمين) وذلك فى العنب Loretto.

(جدول ١٨) : بعض أستعمالات الأوكسينات

المركب	التأثير	التركيز PPm	المعامله
١ ـ كثير من الأوكسينات الطبيعية والتركيبية	١ ـ تنشيط عملية التجذير فى العقل ٢ ـ تنشيط التبرعم أو نمو البراعم ٣ ـ تنظيم عملية سقوط لوز القطن	مائة إلى عشرة ألاف	تغفير أو غمر فى المحلول
٢ ـ IAA	منع سقوط الأوراق والثمار	١٠ ـ ١٠٠	غمر
٣ ـ NAA	منع السقوط المبكر للثمار قبل الجمع	٢٠ ـ ١٠٠	رش قبل الجمع
٤ ـ 2, 3, 5 - triiodobenzoic acid	زيادة كمية المحصول فى فول الصويا	٣ ـ ٤ أوقية لكل فدان	رش النباتات
٥ ـ N - arylphthalamic acids	تشجيع تكوين الأزهار وزيادة المحصول فى الطماطم	٢٠٠	رش البادرات الصغيرة
٦ ـ أوكسينات طبيعية وتركيبية	زيادة المحصول فى البطاطس والبسلة والفاصوليا والبنجر والذرة	١ ـ ١٠ أوقية لكل فدان	تعفير أو رش النباتات
٧ ـ أوكسينات تركيبية منها NAA	تنظيم وتشجيع عقد الثمار	٢٠ ـ ٢٠٠	رش الأزهار

(جدول ١٩) : بعض أستعمالات الجبريللين

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
محاصيل الخضر			
١ ـ أنتظام الحنبطة bolting وزيادة أنتاج البذور	الخس	٥ ـ ١٠	رش النبات وأوراقه ٨ إلى ١٢ ورقة.
٢ ـ زيادة طول الساق وزيادة المحصول	الكرفس	٢٥ ـ ٥٠	رش النبات ٣ ـ ٤ أسابيع قبل الجمع .
٣ ـ تقليل أحتياج البرودة chilling وزيادة المحصول	forcing rhubarb	٢٥٠ ـ ٥٠٠	بداية فترة forcing period
٤ ـ تشجيع النمو والتبكير فى جمع المحصول	globe artichoke	٢٥ ـ ٥٠	٣ مرات رش فى الخريف.
٥ ـ كسر سكون البراعم وأنتظام النبت sprouting	درنات البطاطس	$\frac{١}{٢}$ ـ ١	غمر أو رش الدرنات قبل الزراعة.
٦ ـ أنتاج أزهار مذكرة على السلالات المؤنثة	أنتاج البذور فى الخيار الهجين	٥٠٠ ـ ١٥٠٠	رش النبات وأوراقه ٢ إلى ٤ ورقة.

تابع (جدول ١٩) : بعض أستعمالات الجبريللين

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
محاصيل الفاكهة			
١ ـ زيادة حجم الحبة والعنقود وعدم تكاثف العنقود	عنب بناتى و Black Corinth	٢,٥ ـ ٥	رش مرة واحدة بعد الأزهار بقليل.
٢ ـ زيادة حجم الحبه وعدم تكاثف العنقود	عنب تومسون البناتى	٢,٥ ـ ٢٠ ٢٠ ـ ٤٠	رش عند تمام الأزهار. عند عقد الثمار.
٣ ـ زيادة حجم الحبة مع منع تكوين البذور وتبكير النضج	عنب Delaware	١٠٠ ١٠٠	غمر العناقيد قبل الأزهار. غمر العناقيد عند عقد الثمار.
٤ ـ عدم تكاثف العنقود وصغر حجم الحبة	عنب النبيذ كثيف العنقود	١ ـ ١٠تبعا للصنف	رش ٢ إلى ٣ أسابيع قبل الأزهار.
٥ ـ تأخير شيخوخة القشرة وتقليل ضرر القشرة	برتقال Navel	١٠	رش عند تلوين الثمار.

تابع (جدول ١٩) : بعض أستعمالات الجبريللين

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
٦ ـ تأخير نضج الثمار	الليمون	١٠	رش قبل أختفاء اللون الأخضر مباشرة.
٧ ـ تقليل أصفرار الفيرس وتحسين صفات الثمار	الكريز Red Tart	١٥ ـ ٢٥	رش ١٠ ـ ١٥ يوم بعد سقوط البتلات.
٨ ـ تأخير النضج وزيادة فترة الجمع وتكون الثمار كبيرة وأكثر صلابة وأقل تشقق	الكريز الحلو sweet	٥ ـ ١٠	رش قبل الجمع بثلاثة أسابيع.
٩ ـ زيادة عقد الثمار وتقليل فترة ما قبل الأثمار	بعض أصناف الكمثرى	١٠ ـ ٢٠	رش عند الأزهار أو سقوط البتلات.
١٠ ـ زيادة حجم الثمار وتقليل عدد بذور الثمرة	الطماطم والعنب البذرى cranberries, blueberries	١٠ ـ ٥٠	رش عند الأزهار أو سقوط البتلات.
محاصيل الحقل والزهور والمسحطات			
١ ـ زيادة تركيز أنزيم ألفا أميليز وأنزيم proteolase وتحسين صفات المولت	مولت الشعير	١	يضاف للماء المستخدم فى عمل المولت.

تابع (جدول ١٩) : بعض أستعمالات الجبريللين

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
٢ ـ تشجيع نمو الربيع المبكر	الحشيش grass	١٠ ـ ٥٠	رش فى الربيع المبكر.
٣ ـ زيادة حجم الأزهار ويطيل عمرها نضره	البلارجونيم	٥ ـ ١٠	رش البراعم الزهرية.
٤ ـ زيادة طول الساق وبالتالى زيادة تركيز السكر فى النبات	قصب السكر	٢٠٠	رش المجموع الخضرى فى الشتاء قبل الجمع بثلاثة أشهر.

فى جميع المعاملات السابقة من الأفضل أستعمال أوكسينات تركيبيه مثل نفثالين حامض الخليك وأندول حامض البيوتريك عن الطبيعية حيث أن الأوكسينات التركيبية تبقى فى النبات لمدة أطول من الطبيعية حيث أن الأولى لا يحدث لها هدم بالأنزيمات كما هو الحال فى الأوكسينات الطبيعية حيث تهدم بالأنزيمات مثل أنزيم أوكسيديز أندول حامض الخليك.

يستخدم alar أو B - 9 رشا على أشجار الفاكهة أثناء أو بعد الأزهار حيث تحسن نوعية الثمار وتسرع من النضج وتسهل عملية الجمع الآلى للثمار (جدول ٢٠). توجد أيضا تأثيرات كثيرة ومتعددة للأثريلCCC و (جدول ٢١ و ٢٢).

كان الفضل فى أكتشاف D - 4 و2 ومركب T - 5 و4و2 كمبيدات حشائش إلى تنشيط الأبحاث لأستخدام المركبات الكيماوية كمبيدات حشائش وبالفعل تطور هذا الفرع بدرجة كبيرة وحيث توجد الان أعداد هائلة من مبيدات الحشائش.

بعض منظمات النمو الأخرى وتأثيرها

يسرع ويكثر CCC أى chlormequat من أزهار بعض النباتات وبذلك يزداد المحصول كما فى الكمثرى والطماطم . يساعد على زيادة تركيز الكلوروفيل عادة. يزيد من الجذور وبذلك يزيد من محصول النباتات فى ظروف الجفاف. يزيد من مقاومة نبات القمح لفطر *Cercosporella herpotrichoides* المسبب لمرض عفن القدم فى القمح يتحلل بسرعة فى التربة بواسطة الأنزيمات ولذلك يصبح عديم التأثير على الكائنات الحية الدقيقة النباتية microflora والكائنات الحيوانية fauna. يباع تجاريا بأسم Cycocel. تركيبه الكيماوى 2 - chloroethyltrimethylammoniu (**شكل ٢١١ ب**).

(جدول ٢٠) : بعض أستعمالات Alar - 85 أو B - 9

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
١ ـ تقليل قوة vigor الشجرة وتنشيط الأزهار	التفاح	١٠٠٠ ـ ٢٠٠٠	رش بعد الأزهار.
٢ ـ منع السقوط المبكر للثمار وتحسين صفات الثمار وتصبح الثمار أكثر قابلية للتخزين.	التفاح	١٠٠٠ ـ ٢٠٠٠	رش ٤٥ ـ ٦٠ يوم قبل الجمع.
٣ ـ تأخير الأزهار وتنشيط عقد الثمار.	التفاح	٤٠٠٠	رش فى الخريف.
٤ ـ نضج متجانس للثمار ويسرع نضج الثمار وتحسين لون الثمار.	الخوخ	١٠٠٠ ـ ٤٠٠٠	بداية pit hardening.
٥ ـ تنشيط عقد الثمار.	العنب	٢٠٠٠	رش وقت الأزهار المبكر.
٦ ـ تبكير أسبوع فى جمع الثمار وتحسين لون الثمار وتجانس اللون وسهولة سقوط الثمار وتصبح الثمار غير طرية أى أكثر صلابة.	الكريزالمر sour	٢٠٠٠ ـ ٤٠٠٠	رش بعد الأزهار أسبوعين أو ثلاثة.

تابع (جدول ٢٠): بعض أستعمالات Alar - 85 أو B - 9

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
٧ ـ تحسين نضج الثمار ولونها وزيادة الذائبات الصلبة وسهولة سقوط الثمار وتصبح الثمار مقاومة للتشقق	الكريز sweet	١٠٠٠ ـ ٢٠٠٠	رش أسبوعين الأزهار.
٨ ـ زيادة المحصول مع تحسين صفات الثمار ومقاومة الجفاف	الفول السودانى	١ ـ ٥ ,١ لبرة/ فدان	موعد الرش غير حرج not critical.
٩ ـ زيادة المحصول وعدد الدرنات	البطاطس	٣٠٠٠ ـ ٦٠٠٠	الرش أثناء تكوين الدرنات.
١٠ ـ تحسين الشتلات وزيادة عقد الثمار وتسهيل الجمع الآلى	الطماطم	٢٥٠٠ ـ ٥٠٠٠	الموعد متغير.
١١ ـ أنتاج نباتات خضراء غامقة و compact وأزهار مبكر	حنك السبع والبيتونيا والسلفيا والزينيا و marigold	٢٥٠٠ ـ ٥٠٠٠	رش النباتات الصغيرة.
١٢ ـ زيادة نجاح الزراعة بالعقل فى النباتات العشبية والخشبية	نباتات الزينة	١٠٠٠ ـ ٥٠٠٠	غمر سريع للعقل للساقية.

(جدول ٢١) : بعض أستعمالات السيكوسيل Cycocel

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
١ ـ قصر النباتات وصلابتها لمنع الرقاد وزيادة المحصول وتشجيع نمو الجذور وزيادة التفريع.	القمح والزمير والراى	١ إلى ١,٥ لبرة لكل فدان	معاملة التربة
٢ ـ نباتات compact ومتناسقة وقوية sturdy وأزهار مبكر	بنت القنصل والأزاليا والكريزانثيمم وغيرها	٢٠٠٠ ـ ١٠,٠٠٠	معاملة التربة soil drench
٣ ـ مقاومة الجفاف والبرودة والملوحة	فول الصويا والكرنب والطماطم	٢٥٠٠ ـ ٥٠٠٠	رش المجموع الخضرى
٤ ـ تنشيط النمو	حنك السبع	٥٠ ـ ٥٠٠	رش المجموع الخضرى
٥ ـ زيادة عقد الثمار	العنب	١٠٠ ـ ١٠٠٠	رش المجموع الخضرى
٦ ـ زيادة حجم الثمار أو وزن الثمار وسيقان سميكة ونباتات compact وملائمة للشتل وتبكير فى الأزهار	الطماطم	١٠ ـ ١٠٠	معاملة التربة soil drench
٧ ـ زيادة الأزهار واللوز والمحصول	القطن	٢٥ ـ٥٠	رش المجموع الخضرى بعد ٧٠ يوم من الأزهار

(جدول ٢٢) : بعض أستعمالات الأثريل

التأثير أو الغرض	المحصول	التركيز PPm	المعاملة
١ ـ التبكير بالنضج	الأناناس	١ ـ ٦ لبرة/ فدان	رش المجموع الخضرى
٢ ـ تجانس النضج	التين	٢٥٠ ـ ٥٠٠	رش المجموع الخضرى
٣ ـ جودة اللون وزيادة المحصول	الطماطم	٥٠٠ ـ ١٠٠٠	رش فى طور النضج الأخضر
٤ ـ تبكير سقوط الثمار وسهولة الجمع الآلى	كثير من الثمار الشجرية	٥٠٠ ـ ٢٠٠٠	رش قبل الجمع
٥ ـ زيادة الأزهار المؤنثة	الخيار وقرعيات أخرى squash, melon	١٠٠ ـ ٢٥٠	رش عند ظهور أول ورقة عادية
٦ ـ سهولة سقوط الأزهار وخف الثمار	تفاح وخوخ	١٠٠ ـ ٢٠٠	رش عشره أيام بعد الأزهار
٧ ـ منع تكوين الثمار	نباتات الزينة	١٠٠٠	رش المجموع الخضرى
٨ ـ أنتاج أزهار متجانس	الأناناس	١ ـ ٦ لبره/ فدان	رش المجموع الخضرى
٩ ـ تشجيع نمو الأفرع السفلية	الورد	٢٥٠٠	رش الساق مرتين
١٠ ـ سقوط الأوراق قبل الجمع	الورد	٢٠٠٠	رش المجموع الخضرى
١١ ـ تشجيع تكوين الأبصال	البصل	٥٠٠ ـ ١٠,٠٠٠	رش مبكر أثناء النمو
١٢ ـ يقلل حدوث الرقاد كما أنه يقلل من درجته ويساعد على زيادة التفريع	النجيليات قمح ـ شعير ـ زمير ـ أرز ـ راى وأيضا البسلة	١ ـ ٢ لبره/ فدان	رش النبات الصغير

يستعمل chlorphonium chloride لتقصير سلاميات نباتات الزينة مثل البيتونيا والكريز انثيمم ومنع أو تقليل تكوين الفروع الجانبية فى البلارجونيم والبيتونيا وزيادة عدد البراعم والأزهار فى الأزاليا والبلارجونيم والرودنـدرون. تستخدم فى معاملة التربة فى نباتات الأصص. يزيـد من تجانس العقـل المأخوذة مـن نباتات معاملة بهذا المركب. يباع تجاريا تحت أسم phosfleur تركيبه الكيماوى tributyl (2,4 - dichlorobenzyl) phosphonium (**شكل ٢١١ ب**).

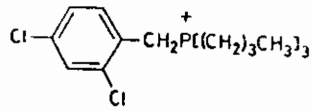
يُستعمل daminozide على بعض أشجار الفاكهة حيث أنه يشجع التوازن بين المجموع الخضرى والأثمار ويزيد من جوده الثمار وتوحيد موعد نضج الثمار. يؤثر على طول نباتات الزينة والزهور ويقلل النمو الخضرى للفول السودانى. يباع تجاريا تحت أسم Alar أو Dazide أو B - Nine لنباتات الزينة وبأسم Kylar للفول السودانى. تركيبه الكيماوى N - dimethylaminosuccinamic acid (**شكل ٢١١ ب**).

يعتبر naphthaleneacetamide منظم للنمو يستخدم فى خف ثمار التفاح والكمثرى. يستخدم بتركيز ٢,٥ إلى ٥ جم لكـل ١٠٠ لتر ماء بعـد الأزهـار بأيام قليلة. يساعد على تكوين منطقة إنفصال فى أعناق الأزهـار. يبـاع تجاريا بأسم Amid - Thin. تركيبه الكيماوى 2 - (1 - naphthyl) acetamide (**شكل ٢١١ب**).

يعتبر naphthalenacetic acid منظم للنمو يستخدم بتركيز $\frac{1}{2}$ إلى ١ جرام لكل ١٠٠ لتر لمنع سقوط التفاح والمانجو والكمثرى قبل الجمع وبذلك يزيد المحصول ويكون الرش بعد سقوط بتلات الأزهار. يستخدم أيضا فى تشجيع عملية التجذير على العقل الساقية وقد يخلط لذلك الغرض مع أندول حامض البيوتريك. يستخدم ethyl naphthalene acetic acid كدهان لمنع أو تقليل خروج الماء من الأفرع فى حالة تقليم التفاح والكمثرى كما يستخدم فى أعاده تشجيع نموات sprouts بعض نباتات الزينة. يباع تجاريا بأسم NAA - 800 وN - Fruitone وRootone

daminozide

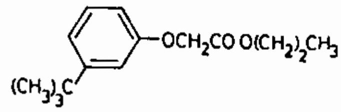
$(CH_3)_2NNHCO.CH_2CH_2CO.OH$



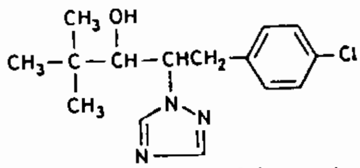
chlorphonium chloride

$ClCH_2CH_2\overset{+}{N}(CH_3)_3$

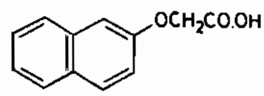
clormequat



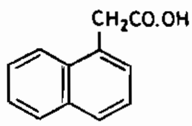
propyl 3 - tert - butylphenoxy acetate



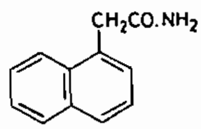
paclobutrazol



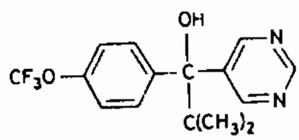
(2 - Naphthyloxy) acetic acid



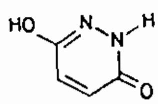
2 - (1 - Naphthyl) acetic acid



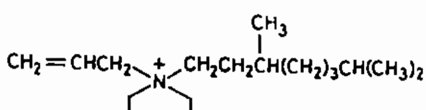
2 - (1 - Naphthyl) acetamide



flurprimidol



maleic hydrazide



piproctanyl

(شكل ٢١١ ب) : التركيب الجزيئي لبعض منظمات النمو

وPyomone. تركيبه الكيماوى 2 - (1 - naphthyl) acetic acid (شكل ٢١١ ب). يمكن خلطه مع كثير من المبيدات الفطرية مثل الكابتان والثيرام ويباع مخلوط مع أحد هذين المركبين.

يستخدم 2 - naphthyloxy) acetic acid) رشا بتركيز ٤٠ إلى ٦٠ ملليجرام/ لتر لتشجيع عقد الثمار فى العنب والأناناس والشليك والطماطم و holly (شكل ٢١١ ب). يباع تجاريا بأسم Betapal.

يعتبر flurprimidol منظم للنمو يقلل من طول السلاميات وبذلك يسبب قصر النباتات فى كثير من ذوات الفلقة وذوات الفلقتين. ومن هذه النباتات حشائش المسطحات الخضراء وبعض نباتات الزينة العشبيه والخشبيه وبعض الأشجار المتساقطة الأوراق وأشجار المخروطيات يباع تجاريا بأسم Cutless. تركيبه الكيماوى 2 - methyl - 1- pyrimidin - 5 - yl - 1 - (4 - trifluoro methoxy) phenylpropan - 2 - ol. (شكل ٢١١ ب).

يعتبر ماليك هيدرأزيد maleic hydrazide من مثبطات النمو وهو يثبط أنقسام الخلايا ولا يؤثر على أستطالة الخلايا. يستخدم فى تأخير نمو نباتات المسطحات الخضراء والأسيجه والأشجار. يثبط تنبيت sprouting البنجر والجزر والبصل والبطاطس وrutabagas وأيضا يمنع تكوين السرطانات suckers فى التبغ. يخلط مع 2,4 - D مع ويستعمل فى مقاومة الحشائش العريضة الأوراق. يباع تجاريا بأسم MH 30. تركيبه الكيماوى 6 - hydroxy - 2H - pyridazin - 3 - one (شكل ٢١١ب).

يعتبر paclobutrazol منظم النمو سريع الأمتصاص بواسطة الأوراق والسيقان والجذور. ينتقل فى داخل النبات فى نسيج الخشب حتى يصل إلى القمم النامية وحيث يسبب تثبيط لعملية تخليق الجبريللين ولذلك تقل سرعة أنقسام الخلايا وينتج عن ذلك نباتات مندمجة compact كما يشجع تكوين الأزهار والبراعم الزهرية. يستخدم فى حالة النباتات النامية فى الأصص مثل أبصال الزينة والكريزانثيم وبنت القنصل والبيجونيا. يستخدم رشا على أشجار الفاكهة أو يخلط مع السماد أو يوضع

فى التربة أو يخلط مع البيت موس حيث توجد الأشجار النامية. يشجع عقد الثمار ويزيد من جودة الثمار ويقلل من النمو الخضرى. يباع تجاريا بأسم Bonzi ويستخـدم فى حالة الزهور ونباتات الزينة و Clipper ويستخدم للأشجار ،عامة و Cultar ويستخدم فى أشجار الفاكهةو Parlay ويستخدم فى grass seeds. تركيبه الكيمـاوى (شكل ٢١١ ب).

1 - (4 - chlorophenyl) - 4, 4 - dimethyl - 2 - (1 H - 1,2, 4, - triazole - 1 - yl).

يعتبر piproctanyl منظم للنمو يقلل من طول السلاميات وبالتالى يقلل من طول النبات وبالتالى ينتج نبات ذو ساق قوى ونوره قوية ولون أخضر غامق للمجموع الخضرى. يمتص وينتقل بين الأوراق والجذور ولكنه لا ينتقل بكفاءة فى السيقان. لا بد من أضافة مركب surfactant لمحلول الرش. يستخدم على الكريزانثيمم بتركيز ٧٥ إلى ١٥٠ ملليجرام لكل لتر ويتوقف التركيز على صنف النبات. يستخدم أيضا على البيجونيا وحلق الست والبيتونيا و *Calceolaria rugosa*. يباع تجاريا بأسمAlden و Stemtrol. تركيبه الكيماوى1 - allyl - 1 - (3,7 - dimethyloctyl) piperidinium ion (**شكل ٢١١ ب**).

يعتبر propyl butylphenoxyacetate منظم للنمو لتشجيع تكوين الأفرع الجانبية فى الصفصاف أم الشعـور والشجيرات الصغيرة السن الغير مثمـرة فى حالـة التفاح والكمثرى حيث أنه يسبب تثبيط المرستيم القمى. يباع تجاريا بأسم M & B 25 - 105. تركيبه الكيماوى propyl 3 - tert - butylphenoxyacetate (**شكل ٢١١ ب**).

استعمالات منظمات النمو فى إنتاج محاصيل الخضر

تستعمل منظمات النمو فى أنتاج محاصيل الخضر وفيما يلى أمثلة لذلك:

١- الطماطم:

يستخدم الأثريل للأسراع من نضج الثمار وتوحيد موعد النضج بقدر الأمكان

وبذلك تسهل عملية الحصاد. كمية الأثريل المستعملة تتراوح بين ٨٠ – ٤٠٠ لتر ماء للفدان ويتم رشها على المجموع الخضرى والثمار. تجرى عملية الرش فى درجات حرارة مناسبة ولا ينصح بعملية الرش عندما تزيد درجة الحرارة عن ٣٨° م حيث يتسبب عن ذلك سقوط الأوراق وأصابة الثمار بمرض لسعة الشمس. يتم جمع الثمار بعد أسبوعين من المعاملة وقد يزيد الزمن عن ذلك قليلا. يحتاج الفدان وتبعا لحجم النبات ٤ كجم أو أقل أثريل للفدان. يتم الرش عندما تكون نسبة الثمار الحمراء أو الوردية ٥ – ١٥ ٪.

يستخدم 4 - chlorophenoxyacetic acid (4 - CPA) رشا على البراعم الزهرية عند تفتحها بتركيز ٢٥ – ٥٠ جزء فى المليون كل ١٠ – ١٥ يوم وبحد أقصى ٥ مرات خلال الموسم الواحد. تفيد المعاملة فى تحسين العقد فى الجو البارد.

يستخدم 2 - Naphthoxyacetic acid (NAA) لتحسين عقد الثمار. يرش المجموع الخضرى أثناء الأزهار. تستعمل ٣ رشات فى الموسم الواحد. ممنوع منعا باتا الرش قبل الحصاد بـ ١٥ يوم أو أقل من ذلك.

٢ ـ البطاطس:

يستخدم الماليك هيدرازيد لمنع أو تأخير نمو البراعم على درنات البطاطس أثناء التخزين. يتم رش النباتات مرة واحدة بعد سقوط الأزهار بتركيز ١,٥ كجم أى ٤ لتر من الماليك هيدرازيد فى ١٢٠ – ٦٠٠ لتر ماء فى الفدان.

يستخدم حامض الجبريلليك لكسر سكون براعم الدرنات وبالتالى يساعد على نمو البراعم وذلك بغمر الدرنات فى محلول تركيزه واحد جزء فى المليون لمدة دقيقتين وذلك قبل الزراعة بأسبوعين. يمكن أن تجرى المعاملة والدرنات فى الأجولة. يجب أن تكون درجة حرارة التقاوى معتدلة عند المعاملة حيث يجب تدفئه الدرنات

بعد أخراجها من الثلاجات أى التخزين البارد وذلك بتركها فترة مناسبة قبل المعاملة. يجب حفظ الدرنات فى درجة حرارة ١٥ – ٢١°م فى الفترة بين المعاملة والزراعة.

يستخدم chlorpropham وهو أسم لتحضير تجارى يحتوى على منظم النمو isopropyl - N - (3 - chlorophenyl) carbamate لمنع أو تأخير نمو براعم درنات البطاطس أثناء التخزين. يرش التحضير على الدرنات أو تغمر فيه الدرنات ويكون تركيز التحضير هو ٤ لتر أو حوالى ١,٥ كيلو جرام فى ١٥٠ لتر ماء يستخدم أيضا فى صورة aerosol بمعدل ٤ لتر لكل ٢٠٠ متر مكعب من حجم الثلاجة أو المخزن ويتم غلق الحيز لمدة يومين. يمنع هذا المركب عملية curing حيث أنه يمنع إلتئام الجروح على الدرنات ولذلك تعامل به الدرنات بعد تمام الأنتهاء من عملية curing يعتبر هذا المركب مبيد حشائش أساسا.

٣ – الخيار والكوسة:

يستخدم الأثريل رشا على النباتات لزيادة الأزهار المؤنثة ويتم الرش فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية. يستخدم التحضير التجارى florel بتركيز لتر لكل ١٦٠ إلى ٤٠٠ لتر ماء للفدان. يستخدم أيضا بكثرة فى حالة حقول إنتاج البذرة الهجين لزيادة نسبة الأزهار المؤنثة على العقد من رقم ٥ حتى رقم ١٥ والتى لا يوجد عليها عادة سوى أزهار مذكرة. وفى حالة الأنبات غير المتجانس يكرر الرش بنفس التركيز أثناء تكوين الورقه الثالثه الحقيقيه. يجب الرش خلال أربعة ساعات بعد تحضير محلول الرش لأن فاعلية منظم النمو تقل بعد ذلك. وفى حالة أنتاج التقاوى الهجين فأنه يجب تجنب زراعة خطوط سلالة الأب مبكرا عن سلالة الأم وذلك لضمان وجود حبوب اللقاح اللازمة لأجراء التلقيح عند تكوين سلالة الأم للأزهار المؤنثة حيث أن النباتات المعاملة تزهر مبكرا حوالى ٧ – ١٠ أيام.

كما يستخدم حامض الجبرلليك أيضاً بغرض إنتاج أزهار مذكرة فى سلالات الخيار المؤنثة للمحافظة عليها وإكثارها لاستخدامها فى إنتـاج الهجن. وترش النباتات

بتركيز ٥٠ جزءاً فى المليون عندما يصل امتداد الورقة الحقيقية الأولى لنحو ٢,٥ سم، ويكرر الرش كل ٥ أيام بعد ذلك.

٤ - الفلفل:

يستخدم الأثريل لزيادة سرعة التلوين والنضج فى الثمار وتوحيد موعد الأثمار فيسهل الحصاد. ترش النباتات بتركيز ١,٥ - ٢ لتر فى ١٦٠ - ٤٠٠ لتر ماء للفدان. يستخدم التركيز المرتفع عندما تكون درجة حرارة الجو ١٨ مئوية أو أقل أو عندما تكون النباتات قوية النمو والغطاء الورقى كثيف. يمنع الرش تاما عندما ترتفع درجة الحرارة عن ٣٥ مئوية لمدة طويلة حيث تسبب هذه المعاملة سقوط الأوراق. ترش الأصناف ذات الثمار الناقوسية عندما تكون ١٠٪ من الثمارحمراء أو بنيه اللون وترش الأصناف ذات الثمار الحريفة عندما تكون ١٠ - ٣٠٪ من الثمار حمراء أو بنية اللون. لا تؤدى المعاملة إلى أنضاج الثمار الخضراء. يكون الحصاد بعد أسبوعين من المعاملة.

٥ ـ البصل:

ترش النباتات فى الحقل عند نضج الأبصال وبداية تدلى الأوراق وهى خضراء بمحلول ماليك هيدرازيد ويكون ذلك قبل الحصاد بحوالى أسبوعين وذلك لمنع أو تأخير تزريع الأبصال فى المخازن. يستخدم ٢,٥ لتر من التحضير التجارى فى ٤٠٠ - ٦٠٠ لتر ماء للفدان. يلزم الدقة فى موعد الرش حيث أن الرش المبكر يؤدى إلى تكوين أبصال أسفنجية بينما لا يكون الرش المتأخر فعال.

٦ ـ الخس:

ترش النباتات بمحلول حامض الجبرلليك بتركيز ١٠ جزء فى المليون ثلاث مرات وهى مراحل نمو الورقة الحقيقية الرابعة والثامنة والثانية عشر وذلك لضمان تجانس الأزهار ونمو الشماريخ الزهرية.

٧ - شهد العسل:

يستخدم غاز الأثيلين فى المخازن بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون من حيز المخزن وذلك للنضج الصناعى للثمار.

٨ - الخرشوف:

ترش النباتات بحامض الجبريلليك بتركيز ٢٥ جزء فى المليون فى الخريف للتبكير فى تكوين النورات. لا يجوز الرش قبل الحصاد بأسبوع أو أقل.

٩ ـ البروكولى:

يستعمل الألار كبديل لعملية إزالة النورة الطرفية بغرض تكوين نورات جانبية كثيرة متجانسة فى نموها. ويستخدم الألار (٨٥٪) بمعدل ١ - ٢ كجم للفدان فى ٢٠٠ - ٤٠٠ لتر ماء. وتجرى المعاملة عندما تكون النورات فى قاعدة النبات بقطر ١ - ٢ سم. ويستخدم التركيز المنخفض عندما تكون النورات بقطر ١ سم، والتركيز المرتفع عندما تكون النورات بقطر ٢ سم، ولا يجوز الرش قبل الحصاد بشهر أو أقل من ذلك. ومن الضرورى رش النبات كله، وتكفى رشة واحدة.

١٠ ـ القاوون:

يستخدم الألار بغرض تقليل النمو الخضرى بمعدل ١ كجم لكل ٢٠٠ لتر ماء للفدان. ويجب أن يتم الرش والنباتات فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية إلى الرابعة. ويجب رش النبات كله، وتكفى رشة واحدة.

أستعمالات منظمات النمو فى أنتاج الزهور

تستعمل منظمات النمو فى أنتاج الزهور وفيما يلى أمثلة لذلك:ـ

١ ـ الورد:

تشير نتائج الابحاث أن ترش نباتات الورد مرتان بالسيكوسيل(CCC). الرشة الأولى

بعد بدأ النمو الخضرى مباشرة، والرشة الثانية بعد عشرة أيام من الأولى، وبتركيز لا يتعدى ٢٠٠٠ جزء فى المليون وذلك بهدف الحصول على نباتات قصيرة تصلح كنباتات أصص مزهرة وتركيز فى كثافة لون الأوراق والأزهار.

كما يمكن إضافة السيكوسيل إلى التربة المنزرعة بالورد وبتركيز يتراوح من ٧٠٠ ـ ٢٥٠٠ جزء من المليون.

٢ - بنت القنصل:

عموماً لا يحتاج الى هذه المعاملة كثيرا نظرا لاستنباط أصناف قصيرة لزراعتها كنباتات أصص مزهرة، وفيما سبق كان يستخدم الرش بالسيكوسيل ثم أستبدل بال Ancymidol (A - Rest) إضافة الى تربة الأصص، أو كرش ورقى. ويضاف السيكوسيل بتركيز يتراوح من ٣٠٠ ـ ١٥٠٠ جزء فى المليون. رشا على الأوراق. أما فى حالة اضافته للتربة فيكون بتركيز من ٣٠٠٠ حتى ٦٠٠٠ جزء فى المليون، وتستخدم منظمات النمو بهدف الحصول على نباتات قصيرة ممتلئة ذات قنابات زهرية زاهية اللون.

٣ ـ الجربيرا ***Gerbera*:**

بعد الزراعة النهائية لشتلات الجربيرا وعند بدء ظهور البراعم الزهرية يمكن رش النباتات بالالار Alar (B - ٩) بتركيز ٠,٢٥٪ (٢٥٠٠ جزء فى المليون) بهدف تحسين جودة النورات الناتجة.

٤ ـ الأراولا:

يمكن إجراء قرط القمم النامية يدويا (باليد)، أو بإستخدام كثير من مثبطات النمو مثل B - Bine أو الـ ancymidol أو الـ cycocel أو غير ذلك وبتركيز مناسب.

٥ ـ الزينيا:

تحتاج بعض الأصناف التى تزرع كنبات أصص أو فى الأحواض إلى رشها ببعض منظمات النمو بهدف دفعها إلى التفريع الجانبى الغزير. هذا ويمكن إستخدام الآلار (٩- B) بتركيز ٠,٣٪ رشا على المجموع الخضرى للنباتات عند بدء تفريعها بمعدل مرة أو مرتان.

٦ ـ قرنفل صينى:

يمكن رش الأصناف الطويلة بالسيكوسيل (CCC) بمعدل من ٢ ـ ٣ مرات وبتركيز من ٠,٢٪ حتى ٠,٣٪ (أى من ٢٠٠٠ حتى ٣٠٠٠ جزء فى المليون) وذلك بهدف دفع النباتات الى التفريع الجانبى وزيادة عدد وحجم الأزهار الناتجة مع تقليل ارتفاع النباتات. وبالتالى نحصل على نباتات قصيرة مغطاة بالأزهار.

٧ ـ كامبانيولا *Campanula*:

يمكن إستخدام بعض منظمات النمو مثل Daminozide رشاً على النباتات بعد أسبوع من بدء المعاملة بالنهار الطويل، وبتركيز يتراوح من ٢٥٠٠ حتى ٥٠٠٠ جزء فى المليون، خاصة على الأصناف التى تزرع فى الأصص مثل أصناف النوع *C. isophylla*، وذلك بهدف الحصول منها على نباتات قصيرة ممتلئة غزيرة الأزهار.

٨ ـ جلوكسينيا *Gloxinia*:

تنمية نبات الجلوكسينيا فى مكان ذو ظل كثيف ودرجة حرارته مرتفعة يؤدى الى استطالة السيقان كثيراً، ويصبح النبات قليل التفريع وغير جذاب، ولتفادى ذلك وللحصول على نبات ممتلئ ذو أوراق خضراء داكنة يستخدم 9 - B(الآلار) بتركيز ١٠٪ رشاً على الأوراق بعد تفريدها بأسبوعين.

٩ ـ سيكلامن ***: Cyclamen***

أثبتت التجارب إلى أن رش نباتات السيكلامن قبل موعد إزهارها بشهرين بحامض الجبريلليك وبتركيز يتراوح من ١٠ – ٢٥ جزء فى المليون وبمعدل ٨ سم٣ لكل نبات، مهم للإسراع فى موعد التزهير، والى تجانس حجم الأزهار الناتجة.

١٠ ـ القرنفل المجوز:

يمكن رش نباتات القرنفل المجوز خاصة شتاءا وهى فى مرحلة flower differentiation، وعندما تبدأ السلاميات فى الإستطالة بالسيكوسيل بتركيز ٠,٢٪ مادة نقية (٢٠٠٠ جزء فى المليون) بهدف تقصير أطوال الحوامل الزهرية، وزيادة صلابتها، مع زيادة فى حجم الأزهار الناتجة، ويكفى ٢٠٠سم٣ من محلول السيكوسيل لرش النباتات المنزرعة فى المتر المربع الواحد، بإستخدام رشاشة صغيرة. أستخدام بنزيل أدنين بتركيز ٢٥ – ٥٠ جزء فى المليون يقلل تشقق كئوس الأزهار ويطيل عمرها ويزيد جودتها. يؤدى الأثريل إلى زيادة تفريع النباتات بمقدار ١٥٪ وتنشيط عملية الأزهار.

يؤدى رش حامض الجبريلليك على الأوراق بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون إلى تبكير بسيط فى موعد الأزهار مع زيادة حجم البتلات الزهرية وأستطالة السلاميات طراوه السيقان.

١١ ـ القطيفة:

رش النباتات بالآلار (B - 9) بتركيز ٠,٣٪ بعد أسبوعين من الزراعة النهائية للنباتات فى مكانها النهائى يدفع النباتات للتفريع الجانبى الغزير وتحسين شكل النباتات.

الباب الحادى عشر

الهندسة الوراثية ومنظمات النمو

تعتبر البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* من أهم الكائنات الحية المستخدمه لدراسة هذا الموضوع حيث أمكن إثبات وجود مناطق معينه على الماده النوويه تتحكم فى أنتاج بعض الهورمونات النباتية.

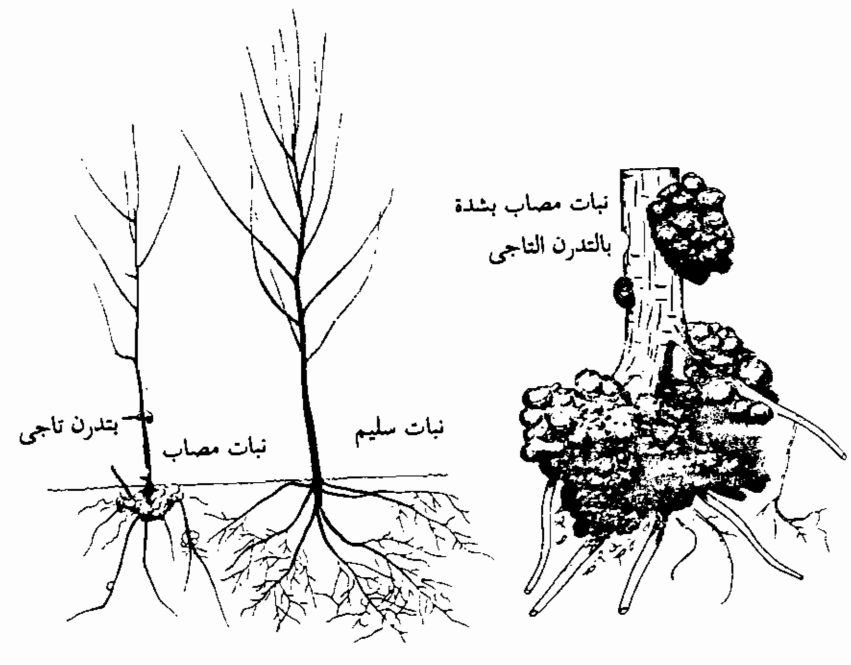
نبذة عن البكتريا *Agrobacterium tumefaciens*:

تسبب هذه البكتريا مرض هام فى النبات وهو التدرن التاجى crown gall ينتشرهذا المرض فى جميع أنحاء العالم. تصيب البكتريا عوائل خشبية وعشبيه كثيرة تشمل مائة وأربعون جنس تتبع ستون عائلة. توجد على وجه الخصوص على التفاح والفاكهة ذات النواه الحجرية والعنب وعباد الشمس.

يتميز المرض بتكوين تدرنات أى أورام ذات أشكال وأحجام مختلفة وتتكون عادة تحت سطح التربْة مباشرة وهى الجزء من ساق النبات الذى يعرف بالتاج crown ومنه أشتق أسم المرض. يمكن أن تظهر أعراض المرض على الجذور الرئيسية. يقل محصول النبات المصاب وقد يموت. يشابه المرض سرطان الأنسان والحيوان ولذلك فأن كيفية حدوثه تمت دراستها بالتفصيل ولكن أيضا توجد إختلافات جوهرية فى الحالتين (شكل ٢١٢).

حديثا ونتيجة للدراسات المكثفة على هذه البكتريا وهذا المرض. فقد أمكن إثبات أن البكتريا تغير فى تركيب أى تحور المادة الوراثية لخلايا النبات العائل حيث أنه يوجد

جزء من بلازميد هذه البكتريا ويعرف هذا البلازميد بإسم Ti Plasmid DNA ويعرف هذا الجزء بإسم T-DNA ويمكن لهذا الجزء أن ينتقل ويلتحم فى DNA الخلية ويصبح جزء من المادة الوراثية للخلية ويمكن أن يعبر express عن وظيفته أو وظائفة بكفاءة عالية فى خلية النبات. ولذلك فإنه من الممكن إستخلاص البلازميد بعد إدخال جينات جديدة إليه من نبات الفاصوليا. يتم إلتحام هذه الجينات أى أجزاء من DNA الفاصوليا مع البلازميد ثم يتم إدخال البلازميد فى خلايا البكتريا *A.tumefaciens* ثم يتم عمل تلقيح بهذه البكتريا فى نبات آخر مثل عباد الشمس

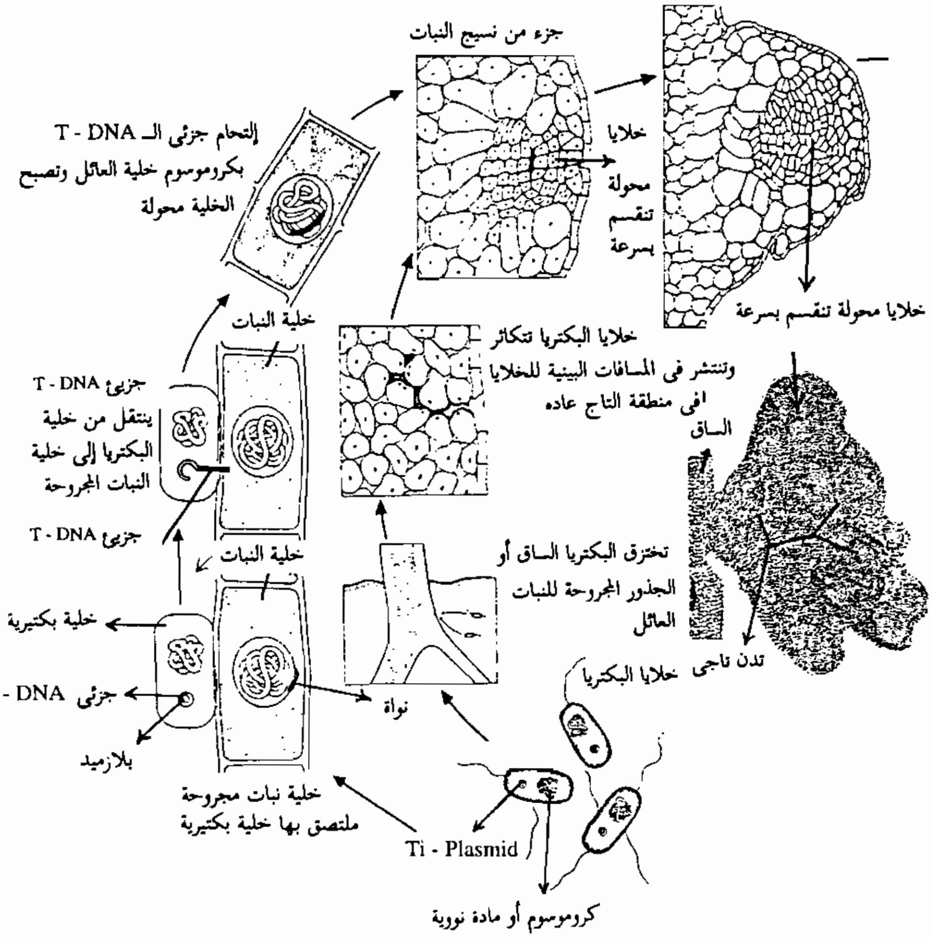


(**شكل ٢١٢**) : أعراض مرض التدرن التاجى.

وبذلك يمكن أن تنتقل جينات الفاصوليا إلى كروموسومات عباد الشمس وتصبح جزء من المادة الوراثية لنبات عباد الشمس. تستعمل هذه الطريقة بكثرة فى نقل جينات من نبات إلى آخر عن طريق هذه البكتريا ويعتبر DNA عباد الشمس المحتوى على جينات من الفاصوليا أنه recombinant DNA. حديثا يمكن تلقيح بروتوبلاست النبات العائل مباشرة بواسطة بلازميدات عادية أو مهندسة وراثيا وذلك فى عدم وجود البكتريا. يمكن الآن إزالة أجزاء من البلازميد Ti المسئول عن تكوين الأورام فى النبات وتظل الأجزاء الأخرى من البلازميد فعاله وقادرة على إظهار تأثيرها ولذلك فأنه يحدث تأثير عاد لهذه البلازميدات إلا أن خلايا البكتريا تكون غير قادرة على أنتاج أورام فى النبات. تعتبر هذه البكتريا مهندس وراثة طبيعى natural genetic engineer قادر على تحوير المادة الوراثية للنبات العائل وذلك بإدخال جزء من المادة الوراثية لهذه البكتريا إلى كروموسومات النبات العائل. والآن تستخدم هذه البكتريا على نطاق واسع لنقل جميع أنواع الجينات بين نباتات مختلفة متقاربة ومتباعدة وراثياً related and unrelated plants وأيضاً بين كائنات حية متباعدة بين الحشرات أو الفيروسات والنبات أى أنه يمكن نقل صفة من حشره معينة إلى النبات عن طريق هذه البكتريا (شكل ٢١٣).

الأعراض المرضية لهذه البكتريا على النبات:

تظهر أورام صغيرة على الساق أو الجذرو بالقـرب مـن سطـح التربة فى البداية، وفى الأطـوار الأولى تكون الأورام تقريباً كروية الشكل بيضاء أو لحمية اللون وطرية. وحيث أنه لكى تحدث الأصابة لابد من وجود جروح أى أن التدرن أو الورم ينتج فى منطقة الجرح فإنه فى البداية لايمكن تمييزه عن نسيج الكالس ولكن سرعة تكوين الورم تكون أكثر بكثير من سرعة تكوين الكالس callus. يكبر التدرن فى الحجم ويصبح سطحه ملتو ومتعرج. فى النهاية تصبح الأنسجة الخارجية للتدرن بنيه سوداء أو سوداء نتيجة لموت وتحلل الأنسجة السطحية للورم. أحياناً لايوجد خط فاصل واضح بين نسيج الورم وأنسجة النبات حيث يظهر الورم نتيجة لإنتفاخ غير



(**شكل ٢١٣**) : دودة حياة البكتريا المسببة لمرض التدرن التاجى.

منتظم الشكل في الأنسجة ويحيط بالساق أو الجذر. عادة يكون الأنتفاخ خارجى وملاصق للجذر أو الساق عن طريق عنق ضيق من الأنسجة. وأحياناً يكون الورم أسفنجى القوام ويمكن أن ينفصل بسهولة عن الساق أو الجذر أو يتحلل أو ينفصل إلى أجزاء تسقط أو تتحلل. أحيانا أخرى يصبح الورم خشبى ويصبح درنى الشكل ويصل قطره ألى ٣٠ سم أو أكثر. بعض الأورام يمكن أن تتعفن جزئياً أو كلياً ويبدأ العفن من السطح ويتجه إلى داخل التدرن وذلك فى الخريف أو الشتاء ويتكون مرة أخرى فى نفس المكان فى الموسم التالى فى الربيع أو الصيف أى فى موسم النمو. أحياناً تتعفن أجزاء من الورم أو التدرن وتتحلل وتتكون أورام أخرى على الأجزاء المتبقية من الورم.

تتكون الأورام على الجذور والسيقان عادة عند سطح التربة ولكنها قد تتكون على بعد قد يصل متر ونصف من منطقة التاج للنبات وذلك فى بعض النباتات الزاحفة أو العشبية وقد تتكون على أفرع الأشجار أو بتلات الأزهار أو عروق الأوراق. عادة يكون ورم أو تدرن واحد فقط ولكن يمكن أن يزيد ويصبح عديد من الأورام متصلة على الجذر أو الساق أو كليهما أو على الفروع.

قد لا يؤثر المرض تأثير ضار واضح على النبات ولكن قد يسبب قصر النبات وقد ينتج أوراق صغيرة ذات لون أخضر باهت ويكون النبات قابل للتأثر بالظروف البيئية غير الملائمة والتى تؤثر على نموه و إنتاجيته مثل ضرر الشتاء winter injury .

صفات البكتريا:

عصويه الشكل ذات عدد قليل من الأسواط محيطى peritrichous يوجد بداخل خلايا البكتريا للسلالات الممرضة بلازميد أو أكثر. يتكون البلازميد من DNA ثنائى الشريط أو الخيط، حلقى الشكل ووزنه الجزيئى يتراوح بين مائه إلى مائه وأربعون مليون دالتون. يحمل أحد هذه البلازميدات جينات خاصة بتكوين التدرن أى الأورام ويسمى Ti plasmid وهى إختصار لكلمتين وهما منتج الأورام tumor-inducing. خلو البكتريا من البلازميد Ti يجعلها غير ممرضه للنبات. كما أن المعاملة الحرارية

للخلايا البكتيريه المحتويه على بلازميد Ti تفقدها هذا البلازميد ويصبح غير فعال وتصبح البكتريا غير ممرضه للنبات أى تفقد القدره على إصابه النبات. يحمل البلازميد Ti الجينات التى تحدد نوع العوائل النباتية التى يمكن أن تصيبها الخلايا البكتيريه الحاملة لهذا البلازميد وأيضاً تحدد نوع الأصابة على النبات العائل حيث أنه توجد أنواع وحالات مختلفة من الأصابة سبق ذكرها وأهم خاصية لهذه السلالات من البكتريا أنها قادرة على نقل جزء من DNA هذا البلازميد بسرعة وبكفاءة عالية إلى المادة الوراثية لخلايا النبات ولذلك تتحول خلايا النبات العادية إلى خلايا أورام ينتج عنها التدرن وذلك فى فترة وجيزة. عندما يكتمل تحول بعض خلايا النبات العادية إلى خلايا نشطة فى عمل الأورام فإن هذه الخلايا الأخيرة تنقسم وتنمو بطريقة غير طبيعية لتزيد أو تكون الأورام ويكون ذلك حتى فى عدم وجود البكتريا حيث يصبح الأنقسام غير مرتبط بالبكتريا.

عند نقل جزء من هذه الأورام والذى يحتوى على خلايا نشطة فى الأنقسام إلى بيئة مغذية وقد تكون بيئة سائلة أو بيئة آجار فإن هذه الخلايا تكون نشطة فى الأنقسام فى عدم وجود هورمونات معينة تحتاجها الخلايا العادية على نفس هذه البيئة لكى تصبح قادرة على الأنقسام. أى أن الخلايا العادية تحتاج إلى وجود هورمونات معينة فى البيئة لكى تنقسم ومن هذه الهورمونات إندول حامض الخليك ولكن خلايا التدرن لا تحتاج إلى هذه الهورمونات على نفس البيئة. تخلق خلايا النبات المكونة للورم أى المحتوية على جزء من DNA بلازميد Ti مركبات كيماوية خاصة تسمى opines والتى يمكن أن تستعمل فقط بواسطة البكتريا المحتوية على بلازميد Ti مناسب بينما الخلايا العادية غير قادرة على تخليق هذه المركبات وحتى أستعمالها. وهذه حالة طفيل وراثى genetic parasite حيث أن جزء من DNA بلازميد البكتريا ينتقل إلى المادة الوراثية لخلية النبات العائل وبذلك ينبه ويشجع الخلايا على تكوين مركبات معينه لازمه للبكتريا وغير لازمه لخلايا النبات العائل ولا يكونها أصلاً أى أنه يحدث تغيير فى عمليات التحول الغذائى فى خلايا النبات لصالح البكتريا وحيث تستفيد البكتريا فى غذائها من هذه المركبات.

حدوث المرض:

تعيش البكتريا فى الشتاء فى التربه وحيث يمكنها أن تعيش كذلك لعدة سنوات ويكون نوع المعيشة رميه. عند نمو النبات العائل فى هذه التربه الملوثه بالبكتريا فإنها تخترق الجذور أو السيقان بالقرب من سطح التربه ولابد من وجود جروح حديثه نسبياً لكى تحدث عملية الأختراق وبالتالى إصابه النبات. تتكون هذه الجروح نتيجة للعمليات الزراعية والتطعيم والحشرات إلخ. توجد البكتريا فى بداية الإصابة فى المسافات البينية بين خلايا النبات وتنشط الخلايا المحيطه بها لكى تنقسم. يتكون نتيجة لذلك حلقات من الخلايا التى لها قدره فائقة على الأنقسام بالمقارنه بالخلايا العادية وتظهر هذه الحلقات من الخلايا فى نسيج القشرة أو الكمبيوم تبعاً لدرجة عمق الجروح. تحتوى هذه الخلايا على نواه أو أكثر. تنقسم هذه الخلايا بسرعة فائقة تسمى هذه الحالة hyerplasia وتكون خلايا غير متشكلة وغير متميزه فى تركيبها التشريحى وبعد حوالى عشره أيام إلى أسبوعين بعد التلقيح يظهر الورم ويمكن رؤيته بالعين المجردة. أمكن للمؤلف عدوى نباتات صغيره من عباد الشمس وبدء ظهور الورم بعد أربعة أيام. حيث أن الأنقسام السريع العشوائى للخلايا وأيضا كبر حجم الخلايا بطريقة غير منتظمة فإن التدرن أو الورم يزداد فى الحجم تدريجيا ويكون تدرن صغير. عادة تكون البكتريا غير موجودة فى مركز التدرن أى أن هذا الجزء من الأنسجة خال من خلايا البكتريا إلا أن الطبقة أو الجزء السطحى من التدرن يحتوى على خلايا بكتيريه فى المسافات البينية للخلايا. فى هذه المرحلة تتميز بعض خلايا التدرن إلى أوعية خشبية وقصيبات ولكنها تكون غير متصلة بنسيج الخشب للنبات أو يكون إتصالها فى مناطق قليله محدوده بنسيج الخشب للنبات. عند كبر الورم فى الحجم فإنه يضغط على الأنسجة المحيطة به وأيضاً الأنسجة أسفله والتى تسبب سحق وتمزق لهذه الأنسجة فى النبات العائل. قد يحدث سحق لأوعية الخشب بواسطة التدرن وقد يسبب ذلك ضعف إنسياب الماء إلى أعلى فى الأوعية الخشبية وبذلك يقل إنسياب الماء إلى المجموع الخضرى قد يصل ذلك إلى ٢٠ ٪ فقط من الماء المنساب إلى المجموع الخضرى فى الحالة العادية.

لا تغطى التدرنات الملساء الصغيرة بنسيج البشره ولذلك فإنها تهاجم بالحشرات أو الكائنات الحية الدقيقة الرمية. هده الكائنات الأخيرة تسبب تلون الجزء السطحى من الورم باللون البنى أو الأسود كما قد تسبب تحلله. تحلل أو تمزق الجزء السطحى من الورم يسبب تحرر البكتريا وسقوطها فى التربه والتى قد تحمل بمياه الرى أو الأمطار لتصيب نباتات جديدة.

عند كبر الأورام تصبح أحياناً خشبية وصلبة. تكوين الحزم الوعائية الغير كامل والغير مرتب فى الورم يكون غير فعال فى تأدية وظيفته ونتيحه لذلك فى بعض الحالات تكون الأورام غير قادره على الحصول على الماء أو التغذية بدرجه كافيه ولذلك يتوقف كبر التدرن فى الحجم ويحدث تحلل لبعض أجزاؤه ويحدث موت لبعض الأجزاء ثم تتحلل وتتلاشى هذه الأجزاء الميته. فى بعض الحالات يضمر التدرن ولا يظهر تدرن جديد ولكن عادة يتبقى جزء حى من التدرن ويتكون منه أورام أخرى فى نفس الموسم أو فى الموسم التالى.

عند أصابة الأنسجة الغير بالغة والصغيرة السن وأيضاً الأنسجة التى لها درجه كبيره من الأستطالة فإن يتكون فى منطقه الأصابه ورم إبتدائى primary tumor وقد يتكون أسفل هذا الورم ولكن عادة يتكون أعلاه ورم آخر يسمى بالورم الثانوى أو التدرن الثانوى secondary tumor ويمكن أن يبعد هذا الورم أو التدرن الثانوى عن الورم الإبتدائى لمسافة صغيرة أو متوسطه أو كبيرة حيث يمكن أن يظهر الورم أو التدرن الثانوى على فرع النبات. أحياناً تظهر الأورام الثانوية على ندب الأوراق المتساقطة أو فى مكان الجروح الناتجة عن عوامل مختلفة أو حتى على أجزاء من الساق غير مجروحة ظاهرياً أو على أعناق الأوراق وعلى العروق الوسطية أو العروق الكبيرة للأوراق. تبعد هذه الأوراق المصابة عن الورم أو التدرن الإبتدائى عدة سلاميات. بداية تكوين التدرن الثانوى تكون من نسيج خشب الحزم الوعائية. وهده الأورام أو التدرنات الثانوية تكون دائماً خالية من البكتريا المسببة للمرض. حيث أنه عند قطع هذه الأورام وتعقيمها ووضعها على بيئة مناسبة فإنه لم يمكن عزل هذه البكتريا

وذلك دليل على أن هذه الأورام الثانوية خالية من البكتريا . عند أخذ جزء من الورم أو التدرن الثانوى وتطعيمه على نبات سليم فإنه يسبب تكون أورام على النبات السليم وتكون هذه الأورام خالية من البكتريا أيضاً ولكنها تشبه الأورام الأبتدائية فى شكلها ومظهرها وتركيبها .

يثبت ذلك أن البكتريا لها أهمية كبيرة فى بداية المرض فقط حيث أنها تسبب تأثير مهيج للخلايا والأنسجة irritant effect فى النبات المصاب. وبعد حدوث الأضطراب والهياج فى الخلايا فإنها لا تحتاج إلى البكتريا لحدوث إنقسام الخلايا الغير منتظم والمسبب لتكوين التدرن حيث أن هذه الخلايا تصبح قادرة ذاتياً على إنتاج العامل المؤثر والذى يحدث هياج للخلايا لتصبح قادرة على الأنقسام بسرعه فائقة وبطريقة غير منتظمه وأيضاً بطريقة غير متحكم فيها uncontrolled ولذلك فإن البكتريا لها أهميتها فقط فى بداية حدوث الورم ولكن بعد ذلك يمكن للخلايا المكونة للورم أن تسبب هياج خلايا أخرى وأنقسامها إنقسام زائد فى عدم وجود البكتريا. بالرغم من وجود دراسات مكثفة لمعرفة طبيعة المسبب لهياج irritant خلايا النبات وميكانيكية تحول الخلايا العادية إلى خلايا أورام فإن المعلومات فى هذين الموضوعين لازالت غير متكامله وغير حاسمه. عامة فإن كمية كبيرة من هذه المعلومات قد عرفت خلال العشر سنوات الماضية وهى أن خلايا البكتريا للسلالات الممرضه للنبات تحمل بلازميد من نوع معين يسمى بلازميد Ti وأن عدم وجود هذا البلازميد يفقد البكتريا قدرتها على أصابة النبات ولابد أن تكون الأصابه بالقرب من جرح حديث. تدخل هده البكتريا جزء من البلازميد يسمى T-DNA فى المادة الوراثية لخلايا النبات المصابة بالقرب من الجروح وحيث تصبح خلايا النبات فى هذه المنطقة قابلة لأستقبال هذه الجزء أى T-DNA أى أن خلايا النبات تأخذ أعداد من T-DNA فى هذه المنطقة. ولذلك فإن خلايا النبات فى هذه المنطقة تتحور لكى تصبح قابلة لأستقبال T-DNA وأما عن كيفية هذا التحور وكيفية حدوثه فهو غير معروف. تصبح أجزاء T-DNA ملتحمه بكروموسومات خلايا النبات فى أماكن

عديدة. تصبح هذه الخلايا النباتية قادرة على أظهار الصفات الموجودة فى T-DNA وتسمى هذه الخلايا بأنها محولة. هذه الخلايا المحوله transformed تنتج opines والتى تستخدم وتستعمل فقط بواسطة خلايا البكتريا التى تحتوى على بلازميد Ti المحتوى على جزء T-DNA. يزداد تركيز مركبات أخرى فى هذه الخلايا النباتية المحولة ومنها الهورمونات النباتية مثل أندول حامض الخليك وأيضاً بعض السيتوكينينات cytokinins وبعض الأنزيمات.

حتى الآن غير معروف كيف يتم زيادة تركيز الهورمونات والأنزيمات وكيفية تخليق opines وما هى علاقتها بالخلايا المحولة وهل يوجد علاقة بين هذه التغيرات وبعضها أو لا توجد بالمره وما هو علاقة ذلك بجزء T-DNA وما هو علاقة ذلك كله بأنقسام وكبر الخلايا المحوله فى النبات والتى ينتج عنها نمو غير محكوم uncontrollable لتكوين الأورام.

مقاومة المرض:

تبدأ مقاومة المرض بالمرور والتفتيش على الأشجار والشجيرات فى المشاتل nursery ورفض المصاب منها وإستبعاده وإبادته. فيمنع زراعة الأشجار والشجيرات القابلة للأصابة فى حقول ذات تربه ملوثه بالبكتريا المسببة للمرض. تزرع الذرة الشامية أو أحد محاصيل الحبوب الأخرى لعدة سنوات متتالية فى الحقول ذات التربة الملوثة بالبكتريا وقبل زراعتها بالشتلات أو الشجيرات القابلة للأصابة. حيث أن البكتريا تخترق النبات عن طريق الجروح الحديثة فيجب الحذر التام والعناية فى عدم تجريح جذور أو ساق النبات أثناء الزراعة. يجب أيضاً مقاومة الحشرات القارضة للجذور مقاومة تامه فى المشاتل لتقليل حدوث الأصابه كلما أمكن ذلك. يجب إستعمال التطعيم بالبراعم budding وعدم إستعمال التطعيم بالقلم أى بعده براعم حيث أن درجة إنتشار مرض التدرن التاجى فى الحالة الأولى أقل بكثير من درجة إنتشاره فى حالة التطعيم بالقلم أى بعده براعم grafting.

يجب شراء وزراعة نباتات خالية من الأصابة. يمكن مقاومة المرض وذلك بكشط التدرن مع مساحة حوله وأسفله ويتم دهان هذا الجزء بواسطة محلول elgetol-methanol ويكون ذلك بواسطة الفرشة. يتكون هذا المحلول من جزء، واحد sodium dinitrocresol إلى أربعة أجزاء wood alcohol . يمكن دهان المكان بعجينة بوردو.

يمكن مقاومة المرض بدهان مكان الورم بمخلوط من مركبات هيدروكربونية عطريه aromatic hydrocarbons يباع تجارياً ويكون هذا المخلوط إختيارى التأثير أى أنه يقتل خلايا وأنسجة التدرن دون أن يقتل الخلايا والأنسجة العادية المجاوره ولكن لايستعمل ذلك عملياً على نطاق واسع.

يمكن عمل مقاومة حيوية لهذا المرض وذلك بنقع البذور أثناء الأنبات أو غمر بادرات المشتل أو الأصول المستعملة كجذور فى معلق من سلاله خاصه من سلالات البكتريا *Agrobacterium radiobacter* وهى رقم ٨٤(strain No84). تضاد هذه السلاله من البكتريا كثير من سلالات البكتريا المسببه لمرض التدرن التاجى وبذلك تقى النبات من الإصابه. يمكن معاملة البذور العادية الغير نابته بهذة السلاله كما يمكن أيضاً رش وغمر التربه فى مكان النبات بمعلق من خلايا البكتريا لهذه السلاله. يعتقد أن هذه السلاله ٨٤ من البكتيريا توجد على سطح العائل وتفرز مركب bacteriocin agrocin. يعتبر هذا المركب مثبط لكثير من السلالات الممرضة للبكتيريا المسببه لمرض التدرن التاجى وبذلك تقى النبات من الإصابه ومن حدوث التدرن، ولكن لسوء الحظ بعض سلالات بكتريا التدرن التاجى الممرضه يمكنها أن تقاوم مركب agrocin 84 ولذلك فإن هذه السلاله البكتيريه فقدت قدرتها على مقاومة المرض فى بعض المناطق.

المتحركات المستعمله فى عزل ونقل الجينات

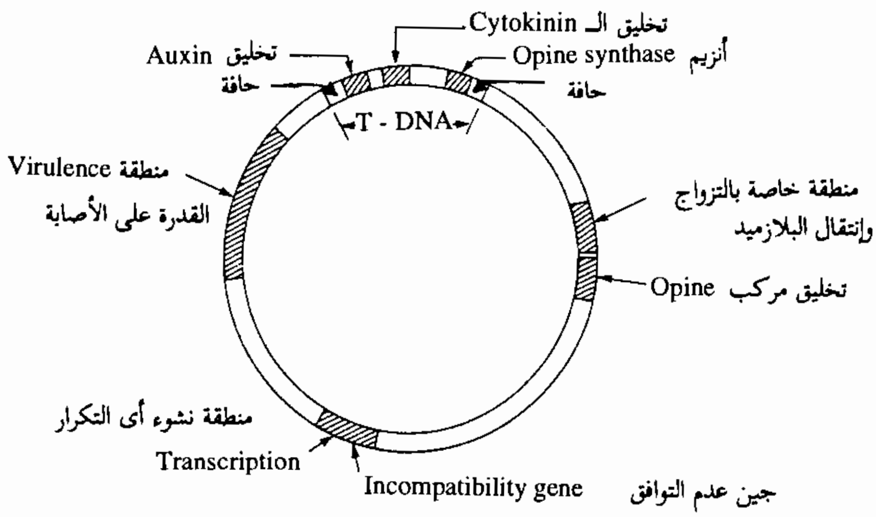
Cloning Vehicles Used For Gene Cloning In Plants

تعتبر vectors أو cloning vehicles كائنات حيه دقيقة عاده أو أجزاء منها agent والتى تنقل المادة الوراثية من كائن حى يسمى الواهب donor إلى كائن حى آخر يسمى المستقبل recipient وبحيث أن هذه المادة الوراثية المنقولة يمكن أن تعبر عن نفسها وذلك بأظهار الصفة أو الصفات الخاصة بها فى الكائن المستقبل أو فى الخلية المستقبلة recipient cell ومثال ذلك البلازميدات والفيروسات البكتيرية أى البكتريوفاجbacteriophage والتى تسمى أيضاً للأختصار بالفاج phage وذلك فى حالة البكتريا وأيضاً الفيروس SV40 لخلايا الحيوان. تعتبر الكوزميدز cosmids أيضاً كذلك وهى عبارة عن نوع خاص من البلازميدات المهندسة وراثياً مشتقة من نوع خاص من الفاج وهو الفاج لامدا bacteriophage lambda وهذه البلازميدات والفاج و SV40 وcosmids تستعمل لأنها cloning vehicles أو vectors للمادة الوراثية المنقولة إلى البكتريا والخميرة والحيوانات. يستعمل البلازميد الخاص بالبكتريا *Agrobacterium tumefaciens* وأيضاً فيروس موزايك أى تبرقش القنبيط وهو عبارة عن DNA ثنائى الشريط DNA double stranded أى ds DNA فى نقل المادة الوراثية إلى النبات. بالإضافة إلى ذلك فإنه توجد فيروسات وحيدة الخيط أو الشريط ss-DNA وتسمىgeminiviruses وأيضاً فيروسات RNA وحيدة الشريط أو الخيط single stranded RNA (ss-RNA) وهى فيروس موزايك أى تبرقش التبغ tobacco mosaic virus (TMV) وبعض الفيروسات الأخرى وأيضاً المتنقلات transposons تستعمل فى نقل المادة الوراثية فى النبات. وفيما يلى شرح لأهم cloning vehicle فى نقل المادة الوراثية فى النبات وهو البلازميد Ti.

بلازميد Ti للبكتريا *Agrobacterium tumefaciens*: يستعمل هذا البلازميد بكثرة فى نقل صفات إلى خلايا النبات كما سبق ذكره فى الجزء السابق. يحتوى هذا البلازميد على عديد من الجينات وقد تم التعرف على بعضها وتحديد وظائفها.

يحتوى الجزء من هذا البلازميد المسمى T-DNA على عديد من الجينات منها . الجين الأول والذى يخلق أنزيم opine synthetase والذى يقوم بتخليق opines وهى مركبات تنتج فقط بواسطة خلايا النبات العائل المحوله transformed بواسطة هذه البكتريا . هذه المركبات وهى opines يمكن أن تستخدم كمصدر للكربون والأزوت بواسطة خلايا البكتريا التى تحتوى على بلازميد Ti . خلايا البكتريا الخالية من بلازميد Ti غير قادرة على أستعمال opines فى التغذية كمصدر للكربون والأزوت. كما أن خلايا البكتريا يجب أن تحتوى على جين خاص بتخليق opines . الجين الثانى أو مجموعة أخرى من الجينات تتحكم فى تخليق السيتوكينينات. حيث أن تثبيط تكوين السيتوكينينات فى النبات ينتج عنه تكوين أورام الجذور. الجين الثالث أو مجموعة من الجينات والتى تتحكم فى تخليق الأوكسينات. حيث أن تثبيط تكوين إندول حامض الخليك فى النبات ينتج عنه تكوين أورام الساق. الجين الرابع أو مجموعة من الجينات وهى عبارة عن حافتى الجزء T-DNA من الناحية اليمنى والناحية اليسرى وتتكون كل من الحافة اليمنى والحافة اليسرى من ٢٥ زوج من القواعد النووية وهى التى تتحكم فى عملية نقل جزء من T-DNA من البلازميد إلى المادة الوراثية لخلية النبات العائل حيث وجد أن إزالة ٢٥ زوج من القواعد النووية أى الحافة اليمنى لجزئى T-DNA من البلازميد منع إنتقال هذا الجزء إلى المادة الوراثية لخلية النبات العائل وأيضا تؤثر على قدره البكتريا على الإصابه وتصبح غير فعالة فى إصابه النبات. تتأثر هاتين الحالتين وهما إنتقال جزيئ T-DNA إلى خلايا النبات العائل وقدرة الطفيل أى البكتريا على الإصابة virulence بجزء آخر من البلازميد فى مكان آخر منه ويسمى هذه الجزء من البلازميد بمنطقة قدرة البكتريا على إصابة النبات أى virulence region وهى بعيدة عن منطقة T-DNA . تتكون المنطقة الأخيره من عديد من الجينات . توجد جينات أخرى على البلازميد تتحكم فى عمليات حيوية أخرى مثل التزاوج الجنسى بين البكتريا ونقل بلازميد Ti من البكتريا الممرضة إلى البكتريا الغير ممرضة وأيضاً جين أو جينات أخرى تتحكم فى تخليق مركب opine فى خلايا النبات العائل بعد أن تنتقل هذه الجينات من

البلازميد Ti إلى كروموسومات النبات العائل. وأيضاً جين أو جينات تتحكم في عدم التوافق بين بعض البلازميدات وبعض سلالات من بكتريا التدرن التاجي وأيضاً جين أو جينات أخري تتحكم في تحديد مكان أصل وبداية إنقسام ونسخ وتضاعف البلازميد origin of transcription وreplication (شكل ٢١٤).



(شكل ٢١٤) : البلازميد Ti وموقع بعض الجينات التي تقوم بعمل بعض الوظائف الهامة.

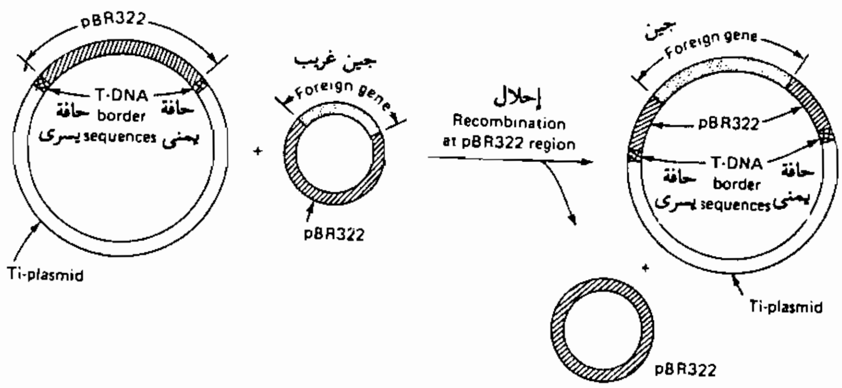
يعتبر البلازميد Ti فعال فى نقل DNA الخلية البكتيرية إلى المادة الوراثية فى النبات ولكن له بعض العيوب حيث أن أستعماله فى نقل مادة وراثية غريبة foreign أى غير موجوده به صعب حيث أن البلازميد كبير الحجم ومن الصعب التعامل معه وراثياً manipulate genetically والأهم من ذلك أن الخلية للنبات العائل تتحول من خلية عادية إلى خلية محوله تنقسم بسرعة كبيرة وتدخل فى تكوين الأورام أو التدرنات ولذلك من الصعب إعادة تكوين نبات عادى من هذه الخلايا المحولة transformed.

أتضح أيضاً أن الجينات الموجودة فى T-DNA عدا جينات الحواف (الحافة اليمنى والحافة اليسرى) ليس لها دور فى نقل جزيئ T-DNA من البكتريا إلى خلايا النبات العائل أو التحامه بكروموسوماته. ومما هو جدير بالذكر أن أدخال جينات أو أجزاء DNA من خلايا الحيوان أو البكتريا أو النباتات الزهرية التى ليس لها علاقة بالنبات العائل إلى T-DNA البلازميد حيث توجد هذه الجينات فى داخل T-DNA فإن هذه الجينات يمكن نقلها إلى المادة الوراثية فى النبات العائل وتصبح جزء منها ولكنها تكون خاملة أى غير قادرة على التعبير عن وجودها فى النبات العائل وإظهار صفاتها . ولكن فى بعض الحالات وعند إضافة جين غريب ثم يضاف إليه الجزء المحفز أو المهيئ promoter region لجين أنزيم opine synthetase فإن هذا الجين يسمى جين كيميرى chimaeric gene وبذلك يمكن لبعض الجينات المنقولة أن تصبح نشطة أى قادرة على إظهار صفاتها فى خلايا النبات العائل وذلك نتيجة لنشاط بعض الأنزيمات الخاصة بها.

يمكن إزالة الجزء الخاص بتكوين التدرن أو الورم من البلازميد وهو عبارة عن الجزء المحتوى على الجينات الخاصة بتخليق الأوكسينات والسيتوكينينات فقط من T-DNA دون إزالة الحافتين اليمنى واليسرى واللذين تتحكمان فى نقل T-DNA إلى خلايا العائل يسمى الجزء الخاص من البلازميد Ti الذى يتحكم فى تكوين الورم tumor inducing بإسم منطقة أو نكوجينك oncogenic region. وهى الجزء الذى يحتوى على جينات تخليق الأوكسينات والسيتوكينينات. يتم نقل هذا البلازميد إلى خلايا النبات العائل وتصبح خلايا النبات العائل المحتوية على هذا البلازميد فاقدة للقدرة على الهياج وأيضاً فاقدة القدرة على عدم التأثر بأوكسينات وسيتوكينينات خلايا النبات العائل أو بمعنى آخر فإن الخلايا المحولة تصبح محكومة وتحت تأثير أوكسينات وسيتوكينينات خلايا النبات العادية ولذلك فإن هذه الخلايا المحولة تكون فاقدة الإنقسام السريع وتكوين الورم أو التدرن بالرغم من إحتوائها على البلازميد كما يمكن لهذه الخلايا المحولة والتى تحتوى على عوامل وراثية جديدة أن تنقسم إنقساماً عادياً وبسرعة عادية لتكون نبات محول كامل جديد به عوامل وراثية جديدة.

أى أنه بذلك تصبح الخلايا المحولة خلايا عادية بها مادة وراثية أو عوامل وراثية جديدة وبالطبع تفقد هذه الخلايا المحولة قدرتها على الهياج. يمكن شغل الأماكن الخالية في بلازميد Ti فى هذه الحالة وهى أماكن جينات الأوكسينات والسيتوكينينات فى جزئى T-DNA بواسطة جينات كيميرية خاصة بمقاومة بعض المضادات الحيوية شديدة السمية مثل كانامايسين kanamycin وميثوتريكسيت methotrexate. يمكن وضع هذين المضادين الحيويين فى البيئة وبذلك تصبح بيئة إنتخابية حيث ينمو عليها فقط الخلايا المحولة والتى تحتوى على جينات المقاومة لهذين المضادين الحيويين وأيضاً تنمو عليها النباتات المحولة فقط والتى لها صفة المقاومة لهذين المضادين الحيويين. وبذلك يسهل عزل الخلايا المحولة من الخلايا الأخرى حيث أن الخلايا المحوله تعيش والخلايا العاديه تموت.

يعتبر كبر حجم بلازميد Ti غير مرغوب حيث يصعب نقله والعمل به والتعامل معه. يمكن التغلب على هذه الصعوبة وذلك بإزالة الجزء الأساسى فى T-DNA مع ترك الحافتين (الحافة اليمنى والحافة اليسرى) أى أزالة الجزء المحتوى على جينات تخليق الأوكسينات والسيتوكينينات. يتم شغل هذا المكان الفارغ من البلازميد بواسطة بلازميد آخر صغير ومدروس وراثياً تماماً أى معروف فيه تتابع الجينات المختلفة وهذا البلازميد يكون أحد بلازميدات البكتريا *E.coli* ومثال البلازميد pBR 322. يتم أيضاً وضع الجين المطلوب فى بلازميد آخرمن نفس النوع أى pBR 322 أى عمل cloning للجين فى البلازميد. يسمح للبكتريا *A.tumefaciens* بأخذ هذين النوعين من البلازميد وهو النوع الحامل للجين المطلوب إدخاله فى المادة الوراثية والنوع الآخر هو الغير حامل للجين. يحدث homologous recombination بين البلازميدات pBR 322 فى بعض خلايا البكتريا وتكون النتيجة نقل الجين المطلوب فى الجزء المخصص له فى جزء T-DNA أى بين الحافتين وبين جزيئين من بلازميد *E.coli* وهو pBR 322 وذلك لبلازميد الخلية البكتيريه المسببه لمرض التدرن التاجى أى بلازميد Ti (شكل ٢١٥). عند إضافة الخلية البكتيريه للنبات فإنها تنقل إلى كرموسومات خلية النبات جميع جزء DNA الموجود بين حافتين جزء T - DNA



(شكل ٥ ٢١) : نقل جين غريب إلى البلازميد Ti بإستعمال بلازميد آخ صغير.

أى أنها تنقل إلى المادة الوراثية لخلية النبات العائل بلازميد *E.coli* أى pBR 322 بما يحمله من الجين المطلوب نقله. ولقد أستعملت هذه البلازميدات بنجاح وبكفاءة عالية فى نقل الجينات المطلوبه إلى كروموسومات خليه أو خلايا النبات العائل ثم ينتج من هذه الخلايا نبات كامل خصب عادى يحتوى على الجينات المنقولة وتصبح هذه الجينات كجزء عادى من كروموسومات النبات. وتنتقل أيضاً إلى نسل هذا النبات عن طريق حبوب اللقاح وخلية البيضة وبالطبع يسبق تكوين هذه الأجزاء الأنقسام الأختزالى والذى ينقسم فيه الجين المنقول بطريقة عادية كما فى جينات النبات الأخرى.

توجد طريقة أخرى تستعمل للتغلب على كبر حجم البلازميد Tiوهى نقل أى جين مطلوب أو جينات مطلوبة بين حافتى جزء T-DNA ثم نقل هذا الجزء وهو

الحافتين والجين أو الجينات المطوب نقلها إلى بلازميد صغير وبذلك يصبح هذا البلازميد الصغير محتوى على الحافتين لجزء T-DNA والجين أو الجينات المطلوب نقلها. يتم نقل المنطقة أو الجزء من بلازميد الخاص بقدرة الطفيل على إصابة النبات virulence region من هذا البلازميد إلى بلازميدات أخرى صغيرة. كلا من هذين النوعين من البلازميدات الصغيرة غير قادر على إصابة النبات على إنفراد. وعند السماح بخلط هذين النوعين من البلازميدات بالبكتريا المسببة لمرض التدرن التاجى فإنها تنتقل إلى داخلها وتصبح خلايا هذه البكتيريا قادرة على إصابة النبات لأحتوائها على جين أو جينات الإصابة كما أن حافتى جزء T-DNA والجين أو الجينات المطلوبة تنتقل إلى كروموسومات خلية النبات العائل وتصبح جزء منها. وبذلك يتم نقل الجين أو الجينات إلى النبات العائل بكفاءة عالية.

تزداد الآن المعلومات الخاصة بأستعمال بلازميد Ti فى نقل الجينات أى أستعماله cloning vehicle أو vector وكلها فى صالح هذا البلازميد حيث أنه يحدث تقدم ملحوظ فى إستعماله مع وجود طرق جديدة بإستمرار لتسهيل أستعماله وزيادة كفاءة أستعماله فى حالات متعددة لم يكن يستعمل فيها أصلاً. ولذلك فإن نقل جينات من البكتريا أو النبات أو الحيوان إلى خلايا النبات أصبح فى الأمكان وأمكن أنجازه. ولكن مدى وكيفية تعبير هذه الجينات عن وظائفها فى خلايا النبات العائل الجديد regulatory controls of expression of genes غير معروفة أو معروف عنها القليل. تصيب بكتيريا التدرن التاجى النباتات ذات الفلقتين فقط ولا تصيب النباتات ذوات الفلقة الواحدة وبالرغم من أن كثير من محاصيل الغذاء مثل القمح والذرة والأرز وقصب السكر تتبع نباتات ذوات الفلقة الواحدة. وأيضاً نفس الشيء بالنسبة للبلازميدات Ti. ولكن أمكن الأن تلقيح بروتوبلاست خلايا نباتات ذوات فلقتين مباشرة بواسطة بلازميد Ti أو ببروتوبلاست خلايا بكتيرية ويسمى البروتوبلاست الملقح بهذه الأجزاء sphaeroplasts ويمكن إنتاج نباتات كاملة بعد ذلك من هذه sphaeroplasts. وأمكن الآن أيضاً تلقيح بروتوبلاست خلايا نباتات ذوات الفلقة

بواسطة بلازميد Ti ولكن حتى الآن لم يمكن إنتاج نباتات ذوات فلقة كاملة من البروتوبلاست وذلك على العكس من ذوات الفلقتين.

زيادة الدراسات والمعلومات عن بلازميد Ti لا تزيد فقط من معلوماتنا عن طبيعة الطفيل المرضية أى طبيعة بكتيريا التدرن التاجى بل أيضاً تزيد من كفاءة نقل جينات مقاومة لأمراض النبات من نبات إلى آخر ويمكن أن يكون هذا النبات الأخير من جنس مختلف أو حتى من عائلة مختلفة. ومن مميزات هذه الطريقة أنها تنقل الجين المطلوب إلى خلية النبات العائل دون زيادة فى جينات غير مرغوبة ودون حدوث نقص فى جينات مرغوبة ومن مميزاتها أيضاً أنها سريعة ولا تحتاج إلى وقت لعمل التهجين بين النباتات crosses وأيضاً لعمل التهجينات الرجعية backcrosses. تعتبر العقبة الرئيسية فى أستعمال بلازميد Ti فى مقاومة أمرض النبات هى نقص المعلومات عن مكان وجود جينات المقاومة فى النبات فى جينومات النباتات المختلفة وأيضاً كيفية تعبير هذه الجينات عن وظائفها فى النباتات الجديدة المنقولة إليها.

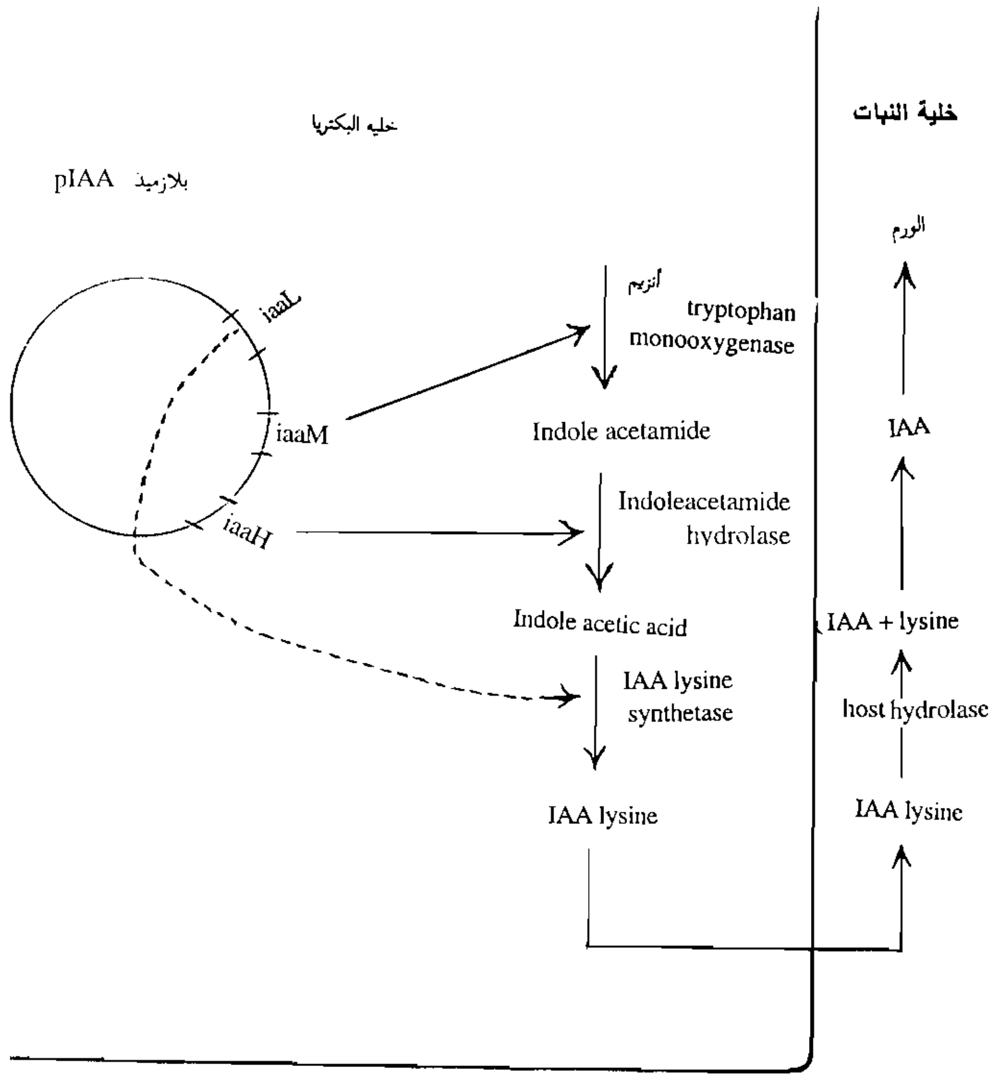
ولكن على العكس من ذلك فى صفات أخرى فقد أمكن حديثا تحديد مكان وجود الجينات المسئولة عن أزهار نبات الطماطم وأمكن عزل هذه الجينات وبالتالى أمكن عمل DNA تكميلى c DNA لها. وبالتالى عمل دراسات عن الأزهار بواسطة cDNA.

الأوكسينات والبكتريا *Pseudomonas savastanoi*:

تصيب هذه البكتريا نباتات الزيتون والدفله *Nerium oleander* وتسبب حدوث أورام على الجذور والسيقان والفروع والأوراق وأعناق الثمار. تبدأ الأورام صغيرة ثم تكبر تدريجياً وقد تصل الأورام إلى أحجام كبيرة قطرها عشرة سم أو يزيد. كما أن الأفرع الطرفية فى النبات تتقزم أو تموت. وقد تسبب الأصابة الشديدة موت الأشجار. تعيش هذه البكتريا فى داخل هذه الأورام. وبدراسات البيولوجيا الجزيئية molecular biology والهندسة الوراثية لهذه البكتريا أتضح أن البكتريا المسببة لتعقد

الدفله تختلف عن البكتريا المسببة لتعقد الزيتون فى موقع الجينات اللازمة لتخليق أندول حامض الخليك حيث وجد فى الحالة الأولى جينات مسئولة عن تخليق IAA على البلازميد وهى الجينات iaaM وهى مسئولة عن تخليق أنزيم تربتوفان mono oxygenase والذى يقوم بتحويل الحامض الأمينى تربتوفان داخل خلية البكتريا إلى indoleacetamide وأيضاً الجينات iaa H المسئولة عن تخليق أنزيم indoleacetamide hydrolase وهذا الأنزيم الأخير يقوم بتحويل indolacetamide إلى أندول حامض الخليك كما يوجد أيضا iaa L وهى جينات مسئولة عن تخليق أنزيمIAA lysine synthetase وهو يسبب أرتباط IAA مع الحامض الأمينى ليسين ليتكون IAA المرتبط أى IAA lysine. تحدث جميع الخطوات السابقة داخل خلية البكتريا. ينتشر IAA lysine من داخل خلية البكتريا إلى خلية النبات وحيث تفرز خلية النبات أنزيم IAA lysine hydrolase وحيث يسبب ذلك فصل الأخير إلى IAA والحامض الأمينى ليسين ويصبح أندول حامض الخليك حر وفعال حيث أنه فى الصورة المرتبطة يكون غير فعال. يسبب أندول حامض الخليك تنشيط وتشجيع خلية وخلايا النبات على الأنقسام السريع ولذلك يتكون الورم. وجد نفس الشيئ فى بكتريا تعقد الزيتون إلا أن هذه الجينات لاتوجد على البلازميد كما فى الدفله (شكل ٢١٥ أ) بل توجد على الكروموسوم البكتيرى أى الخاص بالخلية البكترية. أى أن فى البكتريا التى تصيب الدفله توجد هذه الجينات على البلازميد أما البكتريا التى تصيب الزيتون توجد هذه الجينات على الكروموسوم البكتيرى. يسمى هذا البلازميد الموجود فى داخل خلية البكتريا بأسم بلازميد أندول حامض الخليك pIAA (شكل ٢١٥ أ).

أمكن تثبيط جينات iaa L على البلازميد فى خلايا بكتريا الدفله ولم تتمكن خلايا البكتريا فى هذه الحالة من تكوين الأورام على نبات الدفله. أى أن تكوين الأورام على النبات مرتبط بنشاط وفاعليه وكفاءه جينات iaa L الموجودة على بلازميد الخلية البكتيرية.



(شكل ٢١٥أ) : خطوات تخليق أندول حامض الخليك فى داخل خلية البكتريا *Pseudomonas savastanoi* ودوره فى تكوين الورم فى النبات العائل.

أمكن أدخال جينات iaa M, iaa H من هذه البكتريا إلى نوع آخر من البكتريا لايحدث أورام على النبات وهى *Erwinia herbicola pv gypsophila* وأصبحت البكتريا الأخيرة قادرة على عمل أورام على النبات oncogenic activity .

تعتبر جينات iaa M وiaa H عبارة عن IAA operon . توجد هذه الجينات نفسها على البلازميد Ti أى Ti plasmid فى البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* المسببة لمرض التدرن التاجى. يثبت ذلك أن هذين النوعين من البكتريا *P. savastanoi* و *A. tumefaciens* لهما أصل مشترك واحد أى أنهما نسل وأحفاد لأصل واحد وجد منذ أزمنه أو عصور أو أحقاب جيولوجية أو منذ زمن بعيد.

حالة الجينات المسئولة عن تكوين السيتوكينينات فى بكتريا *P. savastanoi* غير واضحة وغير معروفة بالتفصيل كما فى حالة بكتريا التدرن التاجى وكما سبق شرحه.

الإزهـــار

Flowering

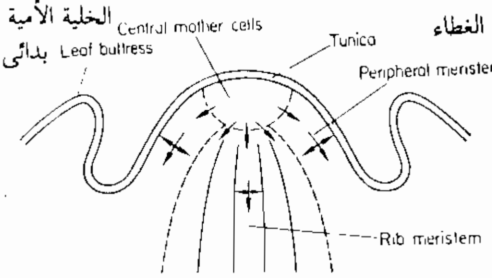
تعريف الزهرة:

الزهرة عبارة عن ساق متحورة لحمل الأوراق الزهرية فمن المعروف أن الساق العادية تقسم إلى عقد وسلاميات ويخرج من العقد الأوراق أما فى الزهرة فإن العقد متقاربة جدا والسلاميات قصيرة جدا والأوراق متحوره إلى أوراق زهرية وهى السبلات والبتلات والأسدية والكرابل أى أن الزهرة عبارة عن فرع خضرى مضغوط بدرجة كبيرة وتحورت أوراقه إلى أوراق زهرية. بعض هذه الأوراق ملونة جذابة والبعض الآخر تحور ليكون حبوب اللقاح أو يكون البويضات.

كيفية تكوين الزهرة:

يتحول المرستيم القمى للفرع أى للساق من مرستيم قمى خضرى إلى مرستيم يكون الزهرة أو الأزهار ومن المعروف أن الجزء القمى فى الساق يتكون من جزئين هما corpus و tunica.

والجزء الأول tunica أى الغطاء يتكون من صف إلى صفين من الخلايا ويكون إنقسام هذه الخلايا فى مستوى واحد فقط حيث يكون عمودى على السطح anticlinal والجزء الداخلى وهو عبارة عن corpus أى البدن، يتكون من خلايا تنقسم فى إتجاهات عديدة لتعطى الزيادة فى الحجم وتسمى انقسامات periclinal ويمكن تمييز البدن إلى ثلاثة أجزاء مرستيمية وهى (شكل ٢١٦): ـ



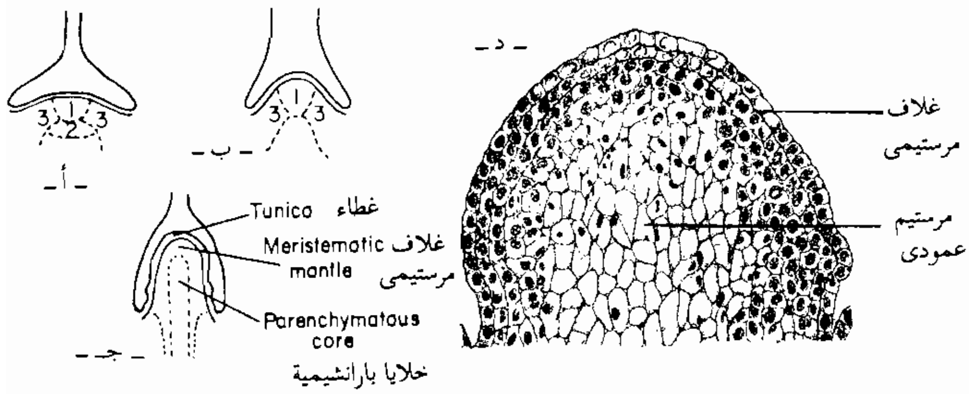
(**شكل ٢١٦**) : قطاع طولى فى قمة نامية فى ساق.

١ ـ جزء كروى إلى إسطوانى وسطى يسمى الخلايا الأمية المركزية central mother cells

٢ ـ ويوجد أسفله جزء عمودى أسطوانى يسمى المرستيم العمودى rib meristem .

٣ ـ وجزء يحيط بالمرستيم العمودى أحاطه تامة يسمى المرستيم المحيطى peripheral meristem .

ولكى يتحول المرستيم القمى من خضرى إلى زهرى فإن الجزء السفلى من الخلايا الأمية المركزية مع جزء من المرستيم العمودى ينقسم بسرعة زائدة ثم ينتشر هذا الإنقسام ليشمل الخلايا الأمية المركزية والمرستيم المحيطى وأثناء نشاط هذا الجزء يتحول الجزء الباقى من المرستيم العمودى إلى نخاع مركزى central pith يتكون من خلايا بها فجوات عصارية. نتيجة لذلك يتكون جزء من هذه الخلايا السريعة الانقسام يسمى الغلاف mantle ويتكون من خلايا مرستيمية صغيرة قابلة للصبغ بشدة . أى يتكون الجزء القمى من نسيج نخاع بارنشيمى مركزى أسطوانى تقريبا ويغطى من أعلى ويحيط به على جوانبه الغلاف ولذلك يزداد فى هذه الأثناء الجزء القمى فى الطول (شكل ٢١٧) . يتكون الغلاف mantle من الغطاء tunica والطبقات الخارجية من البدن corpus. يتكون من الغلاف زوائد هى بدائيات القنابه و السبلات والبتلات والأسدية والكرابل (شكل ٢١٨). تتكون هذه الأجزاء تباعا أولا بدائى



(شكل ٢١٧) : خطوات تحول المرستيم القمي إلى مرستيم زهري.

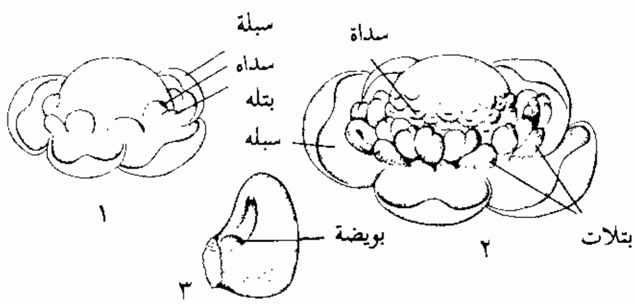
أ، ب، جـ ـ خطوات تحول المرستيم القمي إلى مرستيم زهرى

١ـ الخلايا الأمية المركزية

٢ـ المرستيم العمودى

٣ـ المرستيم المحيطى

د ـ قطاع طولى فى قمة نامية



(شكل ٢١٨) : خطـوات تكوين البرعم الزهـرى فـى نبات الشقيق (١، ٢) *Ranunculus trilobus*.

(٣) كربلة أثناء التكوين.

السبلات ثم يلى ذلك بدائى البتلات ثم يتكون بعد ذلك بدائى الأسدية ثم يتكون بعد ذلك الكرابل. ومن الأنسجة المرستيمية والبدائيات يحدث الإنقسام السريع لهذه الأجزاء وتتكون القنابة إن وجدت وتخت الزهرة وعنق الزهرة إن وجد والكأس والتويج والطلع والمتاع. ومن المعروف أن الزهرة البدائية فى أقل رتب النباتات الزهرية تطورا هى الرتبة الشقيقة ranales حيث تتميز هذه الرتبة بأن التخت مستطيل إلى حد كبير نسبياً كالفرع الخضرى ويحمل عليه حلزونيا الأوراق الزهرية وعادة يكون عددها كبير وذلك بالنسبة لوحدات الطلع والمتاع وهى الأسدية والكرابل. تكون الأسدية والكرابل سائبة فى جميع الحالات. ويعتبر هذا هو التركيب الأقل تطوراً للنباتات الزهرية. ويلى ذلك التطور فى إتجاهات عديدة لتكوين الأزهار الأكثر رقيا فى النباتات الزهرية.

المراحل المختلفة فى حياة النبات:

يمكن تقسيم حياة النبات إلى ٤ أو ٥ مراحل وهى على التوالى مرحلة الإنبات ومرحلة النمو الخضرى ومرحلة الإزهار ومرحلة الإثمار وقد توجد مرحلة الشيخوخة فى بعض النباتات . لتقدير المراحل المختلفة فى عمر النبات ودرجات النمو فيها يعتبر أحسن طريقة لتقدير النمو فى النبات هى طريقة الوزن الجاف فى المراحل المختلفة للنبات ورسم ذلك فى رسم بيانى ينتج عنه شكل حرف S ولذلك يسمى هذا المنحنى S shaped curve or sigmoid cuvre حيث يلاحظ أن الوزن الجاف يقل أثناء مرحلة الإنبات ثم يزداد تدريجياً أثناء مرحلة النمو الخضرى ثم تقل أو تتوقف الزيادة أثناء مرحلة الإزهار والإثمار ثم يقل الوزن الجاف أثناء مرحلة الشيخوخة ومن ذلك يتضح أن مرحلة الإزهار يسبقها عادة مرحلة النمو الخضرى ويليها مرحلة الإثمار ثم الشيخوخة إن وجدت.

الحالات المختلفة للإزهار:

من المعروف أنه لابد أن يسبق الإزهار طور أو مرحلة النمو الخضرى ولكن فى القليل من النباتات يمكن أن يزهر النبات فى عدم وجود الأوراق ومثال ذلك بعض

النباتات متساقطة الأوراق. فقد وجد فى بعض أنواع الصفصاف وأشجار الجاكارندة *Jacaranda* وبعض أشجار الحلويات مثل الخوخ والبرقوق والمشمش تكون البراعم الزهرية والأزهار وبعد ذلك بفترة تتفتح البراعم الخضرية وتتكون الأوراق وتعليل ذلك فى بعض النباتات مثل الصفصاف ومثلها النباتات الأخرى أن البراعم الزهرية تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة حتى تتفتح فى حين أن البراعم الخضرية تحتاج إلى درجة حرارة أعلى نسبياً لكى تتفتح وفى نهاية فصل الشتاء تتفتح البراعم الزهرية أولاً حيث الشتاء القارص البرودة ثم تتفتح البراعم الخضرية حيث الجو أكثر دفئاً نسبياً ، وتوجد حالة نادرة فى النباتات حيث يمكن أن يزهر النبات مباشرة بعد طور الإنبات ومثال ذلك نبات *Chenopdium rubrum* .

يمكن تحديد مراحل النمو المختلفة فى كثير من النباتات ولكن يصعب فصلها تماماً عن النمو الخضرى فى كثير من النباتات ومثال ذلك حالة نبات القمح والشعير والأرز حيث يكمل النبات مرحلة نموه الخضرى تماماً ثم يتحول البرعم الطرفى إلى برعم زهرى ليكون السنابل وبالتالى يمكن تحديد مرحلة النمو الخضرى ويليها بتحديد واضح مرحلة الإزهار وتكوين السنابل وفى هذه الحالة يتحول البرعم الطرفى إلى برعم زهرى لتكوين الأزهار والعكس صحيح فى نباتات أخرى كثيرة مثل الطماطم والبطاطس حيث أثناء نمو البرعم الطرفى وتكوينه لمجموع خضرى يخرج من آباط الأوراق الأزهار وهكذا يستمر البرعم الطرفى فى نموه مكوناً مجموع خضرى وأزهار وهكذا لايمكن فصل مرحلة النمو الخضرى عن مرحلة الإزهار تماماً.

تختلف عدد مرات الإزهار فى حياة النبات بإختلاف نوع النبات ففى النباتات الحولية أو الفصلية تزهر مرة واحدة فى دورة حياتها ثم تموت . والنباتات ذات الحولين تزهر فى السنة الثانية وفى النباتات المعمرة يزهر النبات مرة واحدة عادة فى السنة وفى أشهر معينة من السنة دون الفصول الأخرى ومثال ذلك التفاح حيث يزهر فى أواخر الشتاء وأول الربيع وأيضاً الخوخ والمشمش ولكن فى بعض النباتات يمكن

أن تزهر بشدة فى وقت معين وتزهر بقلة فى وقت آخر ومثال لذلك الكمثرى ونبات الجاكارندا حيث تزهر بشدة فى الربيع ولكن فى أواخر الصيف أو أوائل الخريف يمكن أن تزهر ويسمى بالترجيع. وفى بعض النباتات المعمرة الأخرى لاتزهر النباتات كل سنة بل تزهر كل سنتين مرة واحدة حيث تزهر فى السنة الأولى ولاتزهر فى السنة الثانية وهكذا على التوالى مثال ذلك أشجار المانجو. وفى بعض النباتات المعمرة يمكن أن يزهر النبات مرة واحدة فقط طول فترة حياته ومثال ذلك بعض أنواع نبات الـ *Agave*.

ويعقب الأزهار مباشرة طور الإثمار وفى هذه الحالة يتجه كل الغذاء المجهز فى النبات إلى الثمرة الصغيرة حيث تنمو بسرعة ولذلك يقل أو يتوقف تماماً النمو الخضرى حيث يتحول كل الغذاء المجهز فى النبات لتكوين الثمار ولكى تصل إلى الحجم الطبيعى المناسب. ولذلك فإنه فى كثير من النباتات يجب إزالة الثمار بإستمرار دورياً لإعطاء الفرصة للنمو الخضرى لكى يستمر إلى أطول فترة ممكنة حيث يعمل ذلك على زيادة محصول الأزهار والإثمار تبعاً لنوع النبات ومثال ذلك فى نباتات الخضر أن يتم يجب جمع ثمار القرع بعد ٢ـ٣ أيام على الأكثر من تفتح الزهرة وأن ترك ثمرة واحدة دون قطع يمكن أن يوقف أو يقلل النمو الخضرى بدرجة كبيرة حيث تكبر الثمرة إلى درجة كبيرة جداً ولا يكون النبات أى أزهار أو أى ثمار أخرى وبذلك يقل محصول النبات ويمكن أيضاً تطبيق هذه القاعدة فى بسلة الزهور وحيث أنه من المعروف أنه لابد من قطع الأزهار مباشرة مجرد تفتحها للحصول على أكبر قدر ممكن من الأزهار حيث أنه من المعروف أن ترك الأزهار والتأخر فى قطعها يسبب تكوين الثمار وبالتالى يقل النمو الخضرى ويقل محصول النبات من الأزهار حيث أن الثمار تستهلك جزء كبير من الغذاء وهذه القاعدة معروفة لدى مربى الأزهار.

العوامل المؤثرة على الإزهار:

تنمو النباتات الحولية فى الظروف الطبيعية نمواً خضرياً إلى حين، ثم تظهر عليها

الأزهار بعد ذلك. فى النباتات المعمرة تظهر الأزهار فى أوقات معينة من السنة. وقد بذلت محاولات مختلفة لتفسير ظاهرة إنتظام ظهور الأزهار على النباتات. فأشار Sachs عام ١٨٦٥ إلى إحتمال ظهور مادة ما فى أنسجة النبات فى وقت معين، وأن هذه المادة تنظم تكوين الأزهار. وكأنما كان هذا العالم يتنبأ بوجود مايشبه الهورمونات قبل إكتشافها. ولم تحظ هذه النظرية بإهتمام كبير لعدم وجود أسانيد عملية لها.

ثم ظهرت بعد ذلك نظرية أخرى للعالمين Kraus & Kraybill عام ١٩١٨ تشير إلى

أن تكوين الأزهار لايتم إلا إذا توافرت فى النبات نسبة معينة من $\frac{\text{المواد النيتروجينية}}{\text{المواد الكربوإيدراتية}}$

وقد لقيت هذه النظرية إهتماماً كبيراً وأجريت أبحاث عديدة حول موضوعها ، ولكن ثبت أن نباتات كثيرة تزهر عند نسب مختلفة من النيتروجين/ الكربون. فقل الإهتمام بهذه النظرية.

تمكن العالمان Garner & Allard عام ١٩٢٠ أثناء تجاربهما على صنف معين من نبات التبغ وهو الصنف Maryland Mammoth من إثبات أن هذا النبات لايزهر إطلاقاً فى فترة الصيف ويمكن أن يزهر فى الشتاء داخل الصوب. وقد إتضح من تجاربها أن العامل الجوهرى الفعال هو مدة الإضاءة وأن درجة الحرارة غير هامة فى ذلك حيث لم يكن لها تأثير فى هذه الحالة بالرغم من إختلاف درجة الحرارة فى الصيف والشتاء ولكن إتضح أن فترة الإضاءة هى العامل الفعال والجوهرى فى إزهار هذا النبات واتضح أن هذا النبات دون أصناف نبات التبغ الأخرى يتميز بأنه من نباتات النهار القصير حيث يحتاج إلى فترة إضاءة منخفضة نسبياً لكى يتم الأزهار وفى فترة الإضاءة الطويلة لايمكن للنبات أن يزهر وذلك كما حدث فى الصيف وقد إتضح أيضاً أن الإضاءة الصناعية تماثل الإضاءة الطبيعية فى تأثيرها على الإزهار وفترة التواقت الضوئى.

ثم تمكن العالم Gassner عام ١٩١٨ أثناء تجاربه على القمح الربيعى والقمح الشتوى من إثبات أن درجة الحرارة لها تأثير على الإزهار.

تعتبر صفة الإزهار صفة وراثية وشأنها شأن أى صفة أخرى حيث يتحكم فيها العوامل الوراثية والعوامل البيئية. فتتحكم الوراثة فى عملية الإزهار كما أتضح أن فترة التواقت الضوئى ودرجة الحرارة من العوامل البيئية الهامة التى تؤثر على الإزهار وذلك بالطبع بالإضافة إلى العوامل الوراثية.

أنواع التواقت الضوئى المختلفة فى النباتات Photoperiodism

يمكن تقسيم النباتات تبعاً لفترة التواقت الضوئى إلى ٥ مجاميع:

(١) نباتات قصيرة النهار Short day plants

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار قصير لكى تزهر وقد اتضح بعد ذلك أن العامل المؤثر فى الإزهار هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الضوء حيث إتضح أن نباتات النهار القصير هى أساساً نباتات ليل أى ظلام طويل وأن العامل المحدد هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الإضاءة ومثال ذلك نبات *Xanthium pennsylvanicum*، فقد إتضح أن مدة الضوء لاتزيد عن ٣/٤ ١٥ ساعة لكى يزهر ومدة الظلام يجب أن لاتقل عن ٨,١٥ ساعة لكى يزهر وإذا زادت فترة الإضاءة أو قلت فترة الظلام عن هذا الحد فإن النبات لايزهر. والعكس صحيح فى حالة قلة فترة الإضاءة أو زيادة فترة الظلام عن هذا الحد فإن النبات يزهر أى فى حالة ظلام لمدة تصل عشرون ساعة فى اليوم الواحد فإن النبات يزهر. ومن ذلك يتضح أن العامل المحدد فى نباتات النهار القصير هو طول فترة الظلام ولذلك يجب تسمية هذه النباتات بالنباتات ذات الليل الطويل. ولذلك يوجد مايسمى بفترة الظلام الحرجة critical dark period وهى عبارة عن أقل فترة ظلام يحتاج إليها النبات لكى يزهر وأن أقل من هذه الفترة لايمكن للنبات أن يزهر ومن أمثلة النباتات قصيرة النهار وبالإضافة إلى نبات الـ *Xanthium* صنف نبات التبغ المعروف بإسم Maryland Mammoth ونبات البن.

(٢) نباتات النهار الطويل **Long day plants**

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى فترة إضاءة طويلة لكى تزهر. وفى حالة الإضاءة القصيرة لايمكن للنبات أن يزهر. ولكن إتضح أيضاً أن العامل المحدد والجوهرى فى عملية الإزهار هو طول فترة الظلام وليست طول فترة الإضاءة وأن هذه النباتات تحتاج إلى فترة ظلام قصيرة عبارة عن بضع ساعات ولذلك يجب تسمية هذه النباتات بالنباتات ذات الليل القصير. ومن أمثلة لذلك نبات السكران *Hyoscyamus niger* والسبانخ والفجل والنعناع.

(٣) نباتات محايدة أى متعادلة الفترة الضوئية **Neutral day plants**

وهى عبارة عن نباتات لاتتأثر بطول فترة الظلام أى فترة الإضاءة ومثال ذلك نبات الطماطم ويمكن تلخيص ما سبق فى الجدول التالى.

نباتات محايدة	قصيرة النهار	طويلة النهار	المعاملة فى اليوم الواحد	
أزهار	أزهار	لا يحدث أزهار	ظلام ١١ ساعة	١٣ ساعة ضوء
إزهار	لا يحدث إزهار	إزهار	٤ ساعة ظلام	٢٠ ساعة ضوء

(٤) نباتات طويلة قصيرة النهار **long Short day plants (LSDP)**

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار طويل لبضع أيام ثم يلى ذلك نهار قصير لبضعة أيام أخرى وذلك لكى يتم الإزهار ومثال ذلك نبات السسترم *Cestrum nocturnum* ونبات البرايوفيللم *Bryophyllum crenatum*.

(٥) نباتات قصيرة طويلة النهار **Short long day plants (SLDP)**

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى نهار قصير لبضعة أيام ثم يلى ذلك نهار طويل لبضعة أيام أخرى ومثال ذلك نبات كامبنيولا *Campanula medium*.

تقسيم النباتات تبعاً لإختيارية الفترة الضوئية

يمكن تقسيم النباتات إلى مجموعتين رئيسيتين تبعاً لذلك وهما:

(١) نباتات إجبارية الفترة الضوئية

Plants of absolute or qualitative photoperiodic response

وهى عبارة عن نباتات تحتاج إلى فترة ضوئية معينة لكى تزهر وفى عدم وجود هذه الفـــترة فإنها لاتزهر إطلاقاً ومنـــها نباتات قصيرة النهار qualitative short day requirement. مثل *Xanthium pennsylvanicum* والتبغ صنف Maryland Mammoth وبنت القنصل والشليك وعرف الديك *Amaranthus caudatus* والبن وفول الصويا.

ومنها نباتات طويلة النهار qualitative long day requirement مثل الزمير والسكران والنعناع والفجل والسبانخ والقرنفل وبعض أنواع البرسيم.

(٢) نباتات إختيارية الفترة الضوئية

Plants of quantitative photoperiodic response

وهى عبارة عن نباتات تزهر بدرجة كبيرة فى أثناء فترة الأضاءة المناسبة والمحددة لها ولكن يمكنها أن تزهر بدرجة أقل فى الفترة الضوئية الغير مناسبة لها ومنها نباتات قصيرة النهار quantitative short day requirement مثل الأرز والماراجونا (الحشيش) والسلفيا *Salvia splendens* وقصب السكر والقطن *Gossypium hirsutum*. ومنها نباتات طويلة النهار مثل حنك السبع والبنجر والشعير الربيعى والخس والبيتونيا *Petunia hybrida* والبسلة والراى الربيعى والقمح الربيعى والأونوثرا *Oenothera*.

مدى حساسية النبات لفترة التواقت الضوئى

تختلف حساسية النبات لفترة التواقت الضوئى فى صور كثيرة وحالات كثيرة ومنها يأتى:

(١) طول فترة التواقت الضوئى:

من المعروف أن النباتات تتأثر بطول فترة التواقت الضوئى اللازم للإزهار فمن المعروف أن بعض أصناف مـن نباتات الأرز تتأثـر بطـول فترة الإضـاءة حوالى ١٥ ـ ٢٠ دقيقة وبذلك تؤثر هذه الفترة فى إزهاراً وعدم إزهار النبات . ومن المعروف أيضاً أنه فى حالة النبات *Xanthium pennsylvanicum* أن فترة الظلام الحرجة لهذا النبات هى ٨,١٥ ساعة وأن أقل من هذه الفترة ببضع دقائق لايزهر النبات.

ومن الأمثلة السابقة يتضح أن النبات له كفاءة عالية فى قياس زمن الإضاءة أى أن للنباتات ساعة بيولوجية يمكن بها أن تقيس الزمن وخاصة زمن الإضاءة وبالتالى يزهر أو لايزهر تبعاً لنوع النبات وطول فترة الإضاءة.

(٢) عدد مرات التعرض لفترة الإضاءة اللازمة:

من الحالات النادرة أنه يكفى للنبات طول الموسم الواحد أن يتعرض لمرة واحدة فقط لفترة إضاءة مناسبة ومثال ذلك نبات *Xanthium pennsylvanicum* فإنه يكفيه فى الموسم الواحد أن يتعرض لمرة واحدة فقط لنهار قصير مناسب أى فترة ظلام حرجة مناسبة لكى يزهر وهذه أحد الأمثلة النادرة فى حالة النباتات قصيرة النهار . والعكس صحيح أيضاً فى حالة النباتات طويلة النهار وحيث تحتاج إلى فترة ظلام قصيرة. فقد وجدهأن النبات *Lolium italicum* يحتاج فى الموسم الواحد إلى فترة نهار طويلة النهار مره واحدة فقط لكى يزهر ولكن هاتين الحالتين السابقتين تعتبر من الأمثلة النادرة فى هذا الصدد وأنه من المعروف أن الغالبية العظمى من النباتات قصيرة النهار وطويلة النهار تحتاج إلى مرات عديدة من التعرض إلى فترة الظلام أى الضوء المناسب ولايكفيها إطلاقاً التعرض لمدة واحدة فقط فى الموسم كما حالة النباتين السابقين ومثال ذلك أن نبات السلفيا *Salvia occidentalis* وهو نبات قصير النهار يحتاج على الأقل إلى ١٧ دوره ضوء مناسبة لكى يزهر وفى حالة نبات البلانتاجو

Plantago lanceolata وهو نبات طويل النهار يحتاج على الأقل إلى ٢٥ دوره ضوء مناسبة لكى يزهر.

ومما هو جدير بالذكر أنه فى حالة النباتين السابقين *Xanthium* و *Lolium* فإنه بزيادة عدد مرات التعرض لفترة الإضاءة المناسبة أى فترة الظلام المناسبة فإن كمية الإزهار تزداد بدرجة واضحة بزيادة عدد مرات التعرض للضوء أى الظلام المناسب. ويتضح من ذلك أيضاً أن النبات يمكن أن يشعر بعدد مرات الأضاءة وذلك علاوة على طول مدة الأضاءة.

ويلاحظ حاله الإستحثاث الجزئى فى نباتات النهار القصير وهى على سبيل المثال يحتاج نبات البلسم *Impatiens balsamina* ذو النهار القصير إلى ثلاث دورات ضوء مناسبه لتكوين البراعم الزهرية، ومع ذلك لكى تتكون الأزهار من تلك البراعم الزهرية فهو يحتاج إلى أكثر من ثمانى دورات ضوء مناسبه.

وربما نحصل أيضاً على إستحثاث جزئى فى نباتات النهار الطويل، فنبات البلانتاجو يحتاج إلى خمسة وعشرين دورة ضوء مناسبه لتكوين ١٠٠ ٪ نورات، ولو أعطى النبات عشرة دورات ضوء مناسبه فقط ثم وضع تحت تأثير دورات غير مناسبه (غير أستحثائية) فإنه لا يزهر، ومع ذلك لو أعقب هذه الدورات غير الإستحثائية دورات إستحثائية (مناسبه) فإنه يحتاج خمس عشرة دورة إستحثائية فقط لكى ينتج ١٠٠ ٪ من النورات. تكوين المنشئات الزهرية الأولية على النبات المائى المسمى بعدس الماء *Lemna gibba* يحتاج على الأقل إلى يوم واحد طويل، إلا أنه يحتاج على الأقل إلى ست أيام طويلة لإنتاج أزهار ناضجة ـ يظهر أن الأيام الطويلة لازمة للمراحل المبكرة لنمو الأزهار فى هذا النبات.

والخلاصة الوحيدة من تلك المناقشة تدل على أن بعض العوامل تدخل فى إستجابه النبات للتزهير وتتراكم خلال الدورة الضوئية المناسبه ففى بعض النباتات، على سبيل المثال الشبيط، كمية كافية تتراكم بعد دورة واحدة فقط وتؤدى إلى تشجيع التزهير. أما النباتات الأخرى فهى تحتاج إلى أكثر من دورة ضوء مناسبه لكى

يتراكم بها كمية كافية من عامل التزهير لكى تزهر. فى نباتات النهار الطويل لا يظهر تأثير تعديلى للدورة غير المناسبه من الضوء على التعرض السابق للدوره المناسبه من الضوء التى سبق للنبات التعرض لها أى أنها لا تلغى تأثيرها والعكس صحيحُ فى نباتات النهار القصير حيث أن الدوره الغير مناسبه من الضوء تلغى أثر الدورات المناسبه من الضوء التى سبق للنبات التعرض لها.

(٣) عمر النبات:

من المعروف أنه يمكن تقسيم النباتات إلى نباتات قصيرة النهار ونباتات طويلة النهار ولكن وجد فى بعض الحالات أن هذه الحالة نسبية وتتأثر بعمر النبات ومثال ذلك فى حالة نبات فول الصويا حيث يعتبر هذا النبات مختلف فى إحتياجاته الضوئية أثناء مراحل النمو المختلفة حيث أنه وهو صغير السن يكون من نباتات النهار القصير ولكن وجد فى الأعمار الكبيرة أنه يمكن أن يستجيب لفترة الإضاءة الطويلة حيث تؤثر فى أزهار النبات أى أنه من المعروف أن نبات فول الصويا من نباتات النهار القصير ولكنه يمكن فى أواخر مراحل الأزهار أن يستجيب لفترة الأضاءة الطويلة كمنشط ومنبه للإزهار.

(٤) الجزء الحساس من النبات والذى يستجيب لطول الفترةالضوئية:

من المعروف أن أهم جزء فى النبات يستجيب لطول الفترة الضوئية ويشعر بها هو الأوراق دون الأجزاء الأخرى من المجموع الخضرى . وقد وجد فى نبات فول الصويا وبعد نزع جميع أوراق النبات عدا ورقة واحدة فإن النبات يستجيب لطول الفترة الضوئية يعنى ذلك أن ورقة واحدة كافية للأستجابة وقياس طول الفترة الضوئية . وقد وجد أكثر من ذلك فى حالة نبات *Xanthium pennsylvanicum* حيث أن ينزع جميع أوراق النبات عدا جزء صغير من الورقة مساحته ٢ سم٢ فإن ذلك يكفى لتنبيه الأزهار والحساسية لطول الفترة الضوئية. ولكن كما سبق القول فإنه يوجد لكل قاعدة شواذ فقد وجد أن ساق نبات *Plumbago indicum* المنزوعة الأوراق تماما

يمكنها أن تشعر وتستجيب لطول الفترة الضوئية وتزهر وهذه تعتبر من الحالات النادرة فى هذا الصدد أى أن الساق يمكن أن يشعر فى بعض الحالات بطول الفترة الضوئية .

(٥) تأثير كسر فترة الأضاءة بفتره ظلام أو العكس:

لاحظ الباحثون بعد الأبحاث الأولى لجارنر والارد أن النبات لا يزهر بالرغم من تعرضه للدورة الضوئية الصحيحة بكسر فترة إظلامه المستمرة بواسطة فترة ضوئية قصيرة أو ومضة ضوئية. بينما كسر فترة الإضاءة بفترة إظلام قصيرة فلها تأثير ضئيل جداً. مثل هذه النتائج تبين أن التزهير يكون أكثر إستجابه لفترة الإظلام المتصلة عن فترة الإضاءة المتصلة «دون أى كسر فى إستمرارية الطول الكلى لفترة الإظلام» .

تأثير فترة التواقت الضوئى على النمو الخضرى للنبات

تؤثر فترة التواقت الضوئى على الأجزاء الخضرية من النبات فى كثير من الحالات بالإضافة إلى تأثيرها على الأزهار كما سبق ذكره. وفيما يلى بعض الأمثلة على سبيل المثال وليست على سبيل الحصر:

(١) حدوث ظاهرة أو حالة التورد Rosette habit

عند تعريض نبات السكران *Hyoscyamus niger* إلى نهار قصير فإن ذلك يؤثر على المجموع الخضرى حيث تصبح السلاميات أقصر طولا وتتقارب العقد بدرجة كبيرة ويحدث قصر أى تقزم النبات. تخرج الأوراق من مناطق متقاربة وتأخذ فى نموها شكل الزهرة وهذه تعرف بحالة التورد rosette habit . تحدث هذه الظاهره فى بعض نباتات نهار طويل أخرى.

(٢) تكوين الأجزاء الدرنية تحت سطح التربة :

وجد أن نبات الطرطوفة يحتاج إلى نهار قصير لكى تتكون الجذور الدرنية تحت سطح التربة. كما وجد أيضا أن بعض أنواع البطاطس البرية تحتاج إلى نهار قصير لكى تتكون درنات البطاطس تحت سطح التربة. ومما هو جدير بالذكر أيضا أن هذا

التأثير يكون فقط على نوع البطاطس البرية ولا ينطبق على إحتياجات البطاطس المنزرعة. ولذلك يتضح أن فترة الإضاءة تؤثر على تكوين الجذور أو السيقان الدرنية فى بعض النباتات.

(٣) تكوين السيقان الجارية Runners

وجد أن الساق الجارية لنبات الشليك تحتاج إلى فترة نهار طويل لكى يتم ويكتمل تكوينها.

(٤) تكوين الأبصال

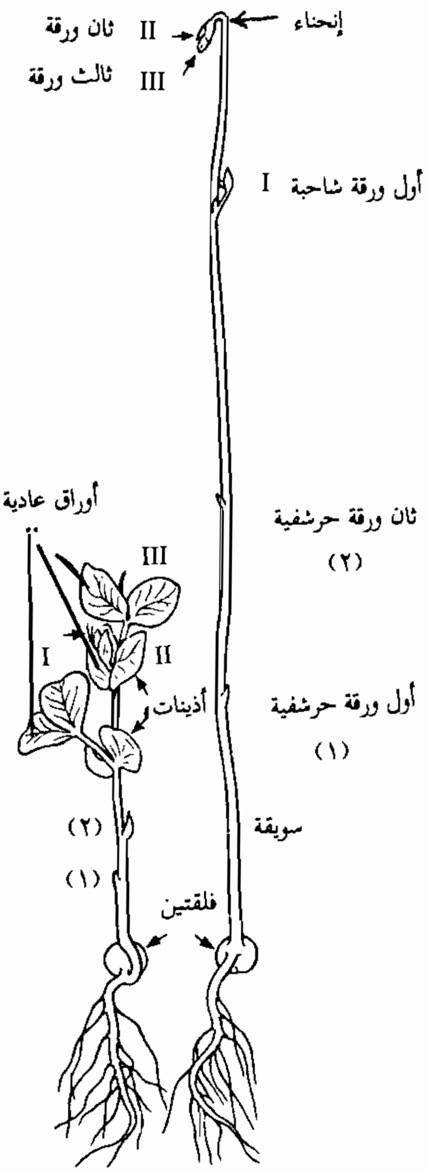
يحتاج نبات البصل إلى فترة نهار طويلة لتكوين البصلة.

الفيتوكروم Phytochrome

كيفية الأستدلال على وجود الفيتوكروم

أجريت تجارب عديدة على مر السنين بعضها يهدف إلى دراسة بعض حالات فسيولوجيا النبات والبعض الآخر يهدف إلى تفسير ميكانيكية حدوث إستجابة النبات لفترة التواقت الضوائى photoperiodism وفيما يلى شرح لأهم التجارب التى أجريت فى هذا الصدد.

١ ـ وجد Bonnet عام ١٧٥٤ أن نمو النبات فى الظلام يسبب حدوث حالة الشحوب الضوئى للنبات etiolation ويمكن أن يحدث التأثير ولكن بصورة مخففة أى أقل فى حالة نمو النبات فى إضاءة ضعيفة وكلما زادت شدة الإضاءة كلما أقترب النبات من الحالة العادية وإختفاء ظاهرة الشحوب الضوئى. حيث تتميز النباتات الشاحبة ضوئيا بزيادة فى طول الساق وتلون الأوراق باللون الأخضر الباهت أى المصفر تبعا لشدة الحالة. وتصبح الأوراق صغيرة الحجم مطوية على بعضها كما تكون قمة الساق منحنية ومتدلية إلى أسفل. وقد تمكن أثناء إجراء تجاربه أيضا من إثبات أنه عند تعرض هذه النباتات إلى الضوء فإنها تتحسن وتأخذ مظهر النبات العام وإذا نقلت أو تم وضعها مرة أخرى فى الظلام فيحدث لها شحوب ضوئى وهكذا يتحكم الضوء والظلام فى حدوث حالة الشحوب الضوئى (شكل ٢١٩).

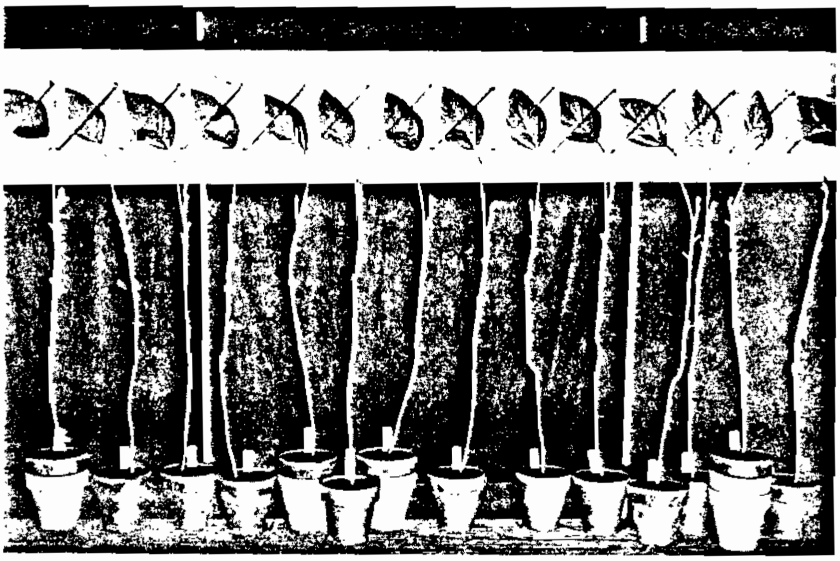


(شكل ٢١٩) : تأثير الشحوب الضوئى على بادره البسله

أ ـ بادرة شاحبة فى الظلام

ب ـ بادرة عادية (نصف الحجم الطبيعى)

٢ ـ قام Borthwick & Hendricks عام ١٩٥٤ بإستخدام الـ spectroscope وذلك باستعمال منشور ضخم من الكوارتز وبتعريض حزمة ضوئية monochromatic light فإنه تمكن من الحصول على ألوان من الطيف الضوئى ممتدة على مسافة ٢ متر وقد وضع فى هذه المسافة أصص بها نباتات فول صويا بنفس العمر وقام بنزع جميع أوراقها عداورقة واحد (شكل ٢٢٠) وقد أتضح بعد ذلك أن جميع النباتات لم تزهر عدا النباتات الموجودة فى منطقة اللون أى الضوء الأحمرred light فقد تم إزهارها.



(**شكل ٢٢٠**) : نباتات فول صويا منزوعة أوراقها عدا ورقة واحدة لتعريضها للطيف الضوئي.

ومن هنا فقد استنتجا أن الضوء الأحمر هو الضوء الوحيد من الوان الطيف الضوئى التى لها تأثير على الأزهار وذلك دون الألوان الأخرى مثل الأزرق والبنفسجي والأصفر والأخضر. وجدا أن الأزهار شديد فى مدى طول الموجة ٦٢٠ إلى ٦٨٠ نانومتر وقليل أو نادر عند طول الموجة ٤٠٠ أو ٥٠٠ نانومتر.

٣ ـ من المعروف أن بعض البذور تحتاج إلى ضوء لكى تنبت ومن المعروف أن

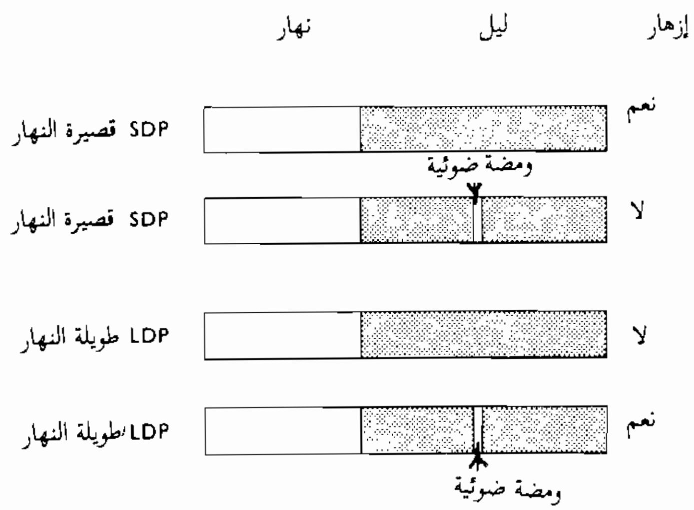
الضوء لا يؤثر على إنبات البذور ولكنه يؤثر فقط على إنبات بذور بعض النباتات ومثال لذلك فإن بذور أصناف نبات الخس لا تحتاج إلى الضوء لإزهارها عدا صنف Grand Rapids فتحتاج البذور إلى الضوء لكي تنبت. وأن هذه القاعدة أيضا موجودة في بذور عدد كبير نسبيا من الحشائش حيث تحتاج هذه البذور إلى الضوء لإنباتها ومثال لذلك بذور حشيشة عرف الديك *Amaranthus caudatus* وأيضا أنواع من الحشائش التابعة لجنس *Chenopodium* . وقد قام Flint & McAlister عام ١٩٣٧ بأستعمال الومضات الضوئية flash light لأختبارها في إنبات بذور الخس وذلك بإستعمال نوعين من الضوء. وهما الضوء الأحمر أي طول الموجه ٦٦٠ نانومتر. واستعملا أيضا نوع آخر وهو الأحمر البعيد far red ذو طول الموجه ٧٢٠ نانومتر. فعند تعريض بذور الخس من صنف Grand Rapids إلى الضوء الأحمر يحدث إنبات ولكن عند تعريض البذور للضوء الأحمر البعيد فإنه لا يحدث إنبات وعند عمل تعاقب من الومضات الضوئية من الضوء الأحمر والأحمر البعيد فإن كل من نوعين الضوء يلغي تأثير الآخر ويصبح التأثير النهائي لآخر نوع من الضوء المستعمل في عمل الومضة فإذا استعمل الضوء الأحمر كآخر ومضة ضوئية فأن البذور تنبت وإذا آستعمل الضوء الأحمر البعيد كآخر ومضة ضوئية فإن البذور لا تنبت . يتضح آن هذا التأثير يتحكم فيه صبغة معينة (جدول ٢٣).

(جدول ٢٣) : إنبات بذور الخس بعد التعريض للضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد.

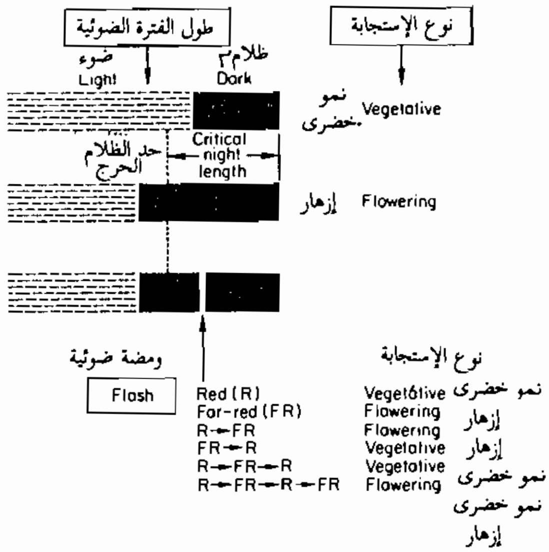
(٪) إنبات البذور	نـوع الضوء
٨	None (ظلام Control)
٩٨	R
٥٤	R+FR
١٠٠	R+FR+R
٤٣	R+FR+R+FR
٩٩	R+FR+R+FR+R
٥٤	R+FR+R+FR+R+FR
٩٨	R+FR+R+FR+R+FR+R

٤ ـ بعد قيام كلا من Borthwick & Hendricks بعمل تجارب كثيرة بإستخدام الومضات الضوئية وبأستخدام الضوء الأحمر والأحمر البعيد فقد أتضح لهما أن التأثير يختلف بأختلاف نوع النبات ففى حالة نبات فول الصويا وهو من نباتات النهار القصير وعند تعريضه أثناء فترة الظلام لومضة ضوئية يفضل أن تكون فى منتصف فترة الظلام فإن النتيجة هى منع الأزهار ويصبح النمو خضرى دون أزهار. وفى حالة تعريضه أثناء فترة الظلام لومضة ضوئية من الضوء الأحمر فأن النتيجة هى منع الأزهار أيضا ويصبح النمو خضرى دون أزهار. ولكن فى حالة قطع فترة الظلام بومضة من الضوء الأحمر البعيد فإن النبات يزهر طبيعياً. وفى حالة إستعمال ومضة من الضوء الأحمر ثم ومضة من الضوء الأحمر البعيد أثناء فترة الظلام فإن الأزهار يستمر وفى حالة إستعمال ومضة من الضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد ثم الأحمر فإن الإزهار يتوقف. وقد أستنتجا أن النبات يستجيب لآخر ومضة ضوئية.

ومن هذه التجارب إتضح أيضاً أن كلا النوعين من الضوء يلغى كل منهما تأثير الآخر ففى نبات مثل فول الصويا فإن تعريضه للضوء الأحمر لايزهر وتعريضه للأحمر البعيد يزهر (شكلى ٢٢١ ، ٢٢٢).



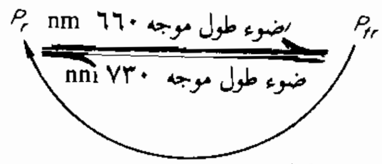
(شكل ٢٢١) : تأثير الومضة الضوئية على إزهار النبات وتأثيرها على التواقت الضوئى.



(**شكل ٢٢٢**) : تأثير نوع الومضة الضوئية على إزهار النباتات قصيرة النهار.

ومن ذلك تم إستنتاج أنه لابد من وجود صبغة معينة تتحكم فى هذا النوع من التفاعل الضوئى. ومن المعروف أنه لكى يحدث للضوء تأثير على النبات فإنه يمتص أولاً بواسطة صبغة متخصصة فى النبات . ومثال ذلك أن عملية البناء الضوئى للنبات هى عملية متخصصة تحتاج إلى الضوء ولكى يحدث هذا الضوء تأثيره فى داخل النبات فلابد أن يمتص أولاً بواسطة صبغات متخصصة وهى صبغة كلورفيل BوA وكما هو معروف بالنسبة لعملية البناء الضوئى. ولكن من المعروف أن عملية البناء الضوئى تحدث بدرجة كبيرة وأن الضوء الفعال هو الضوء الفعال فى حدوثها هو الضوء الأحمر والضوء الأزرق ولكن فى هذه العملية فإن الضوء الأحمر فقط وأن الضوء الأزرق ليس له أى تأثير. ومن ذلك أستنتجا أن الصبغة المسئولة عن إمتصاص الضوء الأحمر فى هذه الحالة ليست بالقطع صبغة الكلوروفيل ولابد من وجود صبغة أخرى تمتص الضوء الأحمر بشدة دون الألوان الأخرى وقد قاما بإفتراض وجود هذه الصبغة.

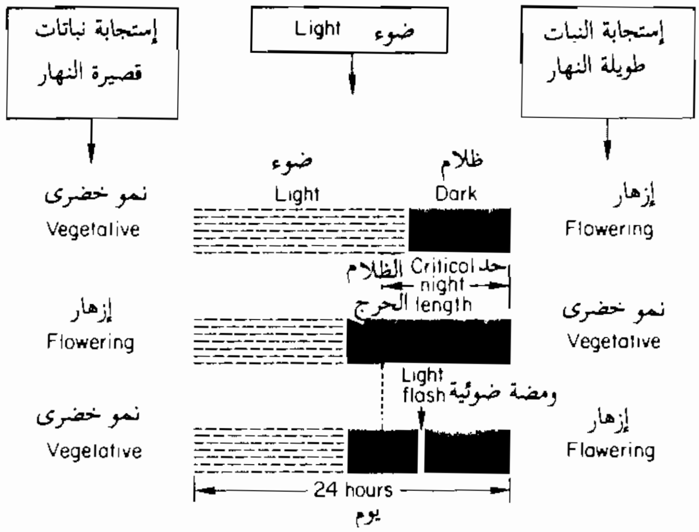
وقد وضعا هذا الإفتراض والذى ثبت صحته منذ ذلك الوقت حتى الآن. وقد أفترضا أن هذه الصبغة توجد فى صورتين أحدهما يمتص الضوء الأحمر ذو طول الموجة ٦٦٠ نانومتر ويرمز لهذه الصورة من الصبغة بالرمز Pr وهى إختصار لكلمة صبغة أى Pigment والحرف r إختصار للضوء الأحمر ونتيجة لإمتصاص الصبغة لهذا الضوء تتحول إلى الصبغة P_{fr}. تعتبر P_{fr} هى الصورة الثانية للصبغة حيث أنها تكون متخصصة فى إمتصاص الضوء الأحمر البعيد ذو طول الموجة ٧٣٠ نانومتر وتتحول نتيجة لذلك إلى الصبغة Pr. وهكذا يكون لهذه الصبغة صورتين تتحول كل منهما إلى الأخرى (شكل ٢٢٣) تبعاً لنوع الضوء الممتص.



(شكل ٢٢٣): تحول صبغة P_{fr} إلى Pr والعكس

وقد وجد هذان العالمان أن النتيجة عكسية عند تعريض النباتات طويلة النهار لومضات ضوئية أثناء فترة الظلام. فإن تعريض فترة الظلام لومضة ضوئية للضوء الأحمر R فإن النبات يزهر وعند تعريضها لومضة ضوئية من الـ Fr فإن النبات لايزهر وهكذا يلغى كل نوع من الضوء تأثير الآخر فعند تعريض الظلام لومضةR ثمFr ثمR فإن النبات يزهر. وقد تم تعليل ذلك بأن صبغة الـ Pfr تتحول تدريجيا فى أثناء الليل أو الظلام تلقائيا إلى صبغة Pr أى يمكن لصبغة P_{fr} أن تتحول إلى صبغة Pr بإحدى حالتين وهو التعرض للضوء الأحمر البعيد بطول موجه ٧٣٠ نانومتر او فترة ظلام طويلة حيث يتحول الـ P_{fr} تدريجياً بزيادة مدة الظلام إلى Pr. ففى فترات الظلام الطويلة يتحول الـ P_{fr} إلى الـ P_r بدرجة كبيرة.

وقد إتضح بعد ذلك أن النباتات طويلة النهار يلائمها وجود صبغة الـ P_{fr} والنباتات قصيره النهار يلائمها P_r لكى تزهر كما فى المعادلة (شكل ٢٢٤).



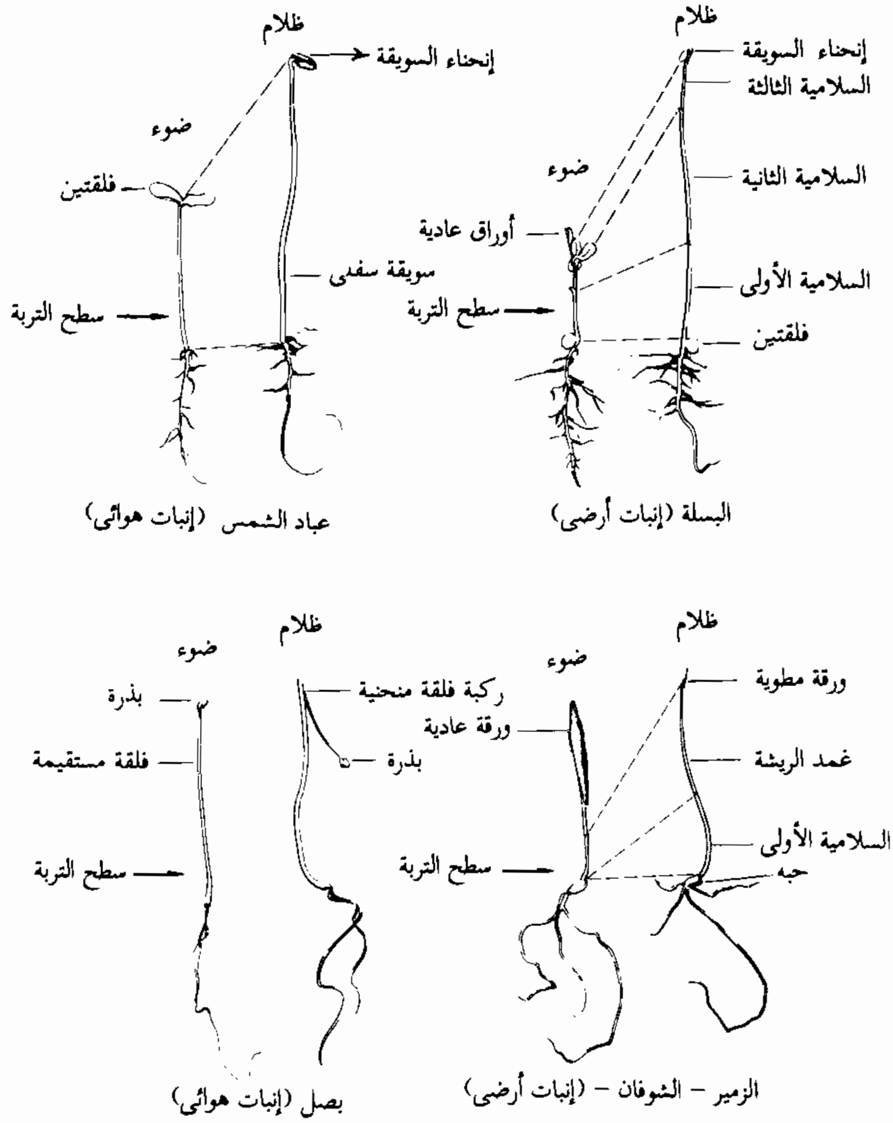
(شكل ٢٢٤) : تأثير الومضة الضوئية على إزهار النباتات طويلة النهار والنباتات قصيرة النهار.

وبناء على هذه القاعدة يمكن تفسير الومضات الضوئية السابق ذكرها ففى حالة النباتات ذات النهار الطويل تحتاج إلى ليل قصير لكى لايتم تحويل الـ P_{fr} إلى الـ P_r أو جزء كبير منها ولذلك يحدث إزهار النباتات طويلة النهار والعكس صحيح فى النباتات قصيرة النهار حيث تحتاج إلى صبغة Pr ولذلك تحتاج إلى ليل طويل وهكذا يمكن تعليل كيفية إستجابة النبات للنهار الطويل أو النهار القصير. وقد أمكن عزل هذه الصبغة وتحديد تركيبها الجزيئى كما سيلى ذكره وقد سميت بصبغة الفيتوكروم phytochrome حيث أن المقطع phyto باللاتينى أى نبات والمقطع chrome أى صبغة.

ومن ذلك يتضح أن النباتات يمكن أن تقوم بقياس الزمن وتشعر بطول فترة الإضاءة وتستجيب لطول هذه الفترة بحساسية زائدة ومفرطة تصل إلى حوالى ٥ـ١٠ دقائق كما سبق ذكره. ولذلك تعتبر صبغة الفيتوكرم هى الميقاتى لعملية الإزهار فى النبات ولذلك يتضح أن للنبات ساعة يمكن أن تقيس الزمن بدقة بالغة وتسمى هذه الساعة بالساعة البيولوجية.

٥ ـ بدراسة حالة الشحوب الضوئى فى بادرات albino والتى تتميز بخلوها من الكلوروفيل ومنها نباتات القطن والذرة والقمح والشعير والبسلة والفاصوليا والبطيخ والفول والخيار. وتتميز جميع هذه البادرات بخلوها من الكلوروفيل وبالرغم من ذلك فإن حالة الشحوب التى تتميز بها هذه البادرات من إنحناء القمة النامية للريشة وصغر وتداخل الأوراق فإنه يمكن معادلة هذا التأثير بتعريض هذه النباتات للضوء حتى تصبح مماثلة للبادرات العادية فيما عدا خلوها من الكلوروفيل ومن ذلك إثبات ودليل قاطع على أن هذه البادرات الألبينو الخالية من الكلوروفيل تماما تستجيب لتأثير الضوء كالبادرة العادية تماماً ومن هذا يتضح بالقطع أن الصبغة المسئولة عن إمتصاص الضوء هى بالقطع ليست صبغة الكلوروفيل وتكون صبغة أخرى فى هذه البادرات الألبينو وهى بالطبع الفيتوكروم.

٦ ـ يتضح أن الضوء لازم لتكوين وتكشف البادرات فى النباتات المختلفة وقد وجد أيضاً نفس التأثير للضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد على تكشف البادرات . ويوجد طرق مختلفة لإنبات البادرات تختلف بإختلاف النبات . ففى النباتات ذوات الفلقتين مثل القطن والفاصوليا والطماطم وعباد الشمس والخيار نجد أن الإنبات هوائى (شكل ٢٢٥) حيث تستطيل السويقة الجنينية السفلى بدرجة كبيرة وتحمل البذرة ومابها من ورقتين فلقيتين إلى فوق سطح التربة وفى هذه الأثناء تكون قمة السويقة منحنية وهذا الإنحناء مرغوب فيه حيث يحمى الريشة والقمة النامية للبادرة من الإحتكاك بالتربة وبالتالى يمنع فسادها حيث يسبب الإنحناء للسويقة الجنينية فتح المجال أمام البادرة فى التربة لكى تنمو دون أى تأثير ضار على القمة النامية والذى



(**شكل ٢٢٥**): photomorphogenesis فى البادرات.

قد يسبب موتها. وعند ظهور السويقة الجنينية فوق سطح التربة فإنها تأخذ فى الإستطالة والإعتدال وتكون الأوراق وتكبر فى الحجم ويتكون الكلوروفيل وتأخذ الأوراق شكلها ولونها الطبيعى. والعكس صحيح فى حالة نبات الفول والبسلة والفول السودانى حيث أن الإنبات أرضى حيث تكون سرعة أستطالة السويقة الجنينية العليا كبيرة نسبياً ولذلك تبقى الفلقتين تحت سطح التربة وتنمو السويقة الجنينية العليا وتكن قمتها منحنية تحت سطح التربة لتمنع إحتكاك القمة النامية بحبيبات التربة والتى قد تؤثر عليها تأثير ضار وعندما تظهر السويقة الجنينية العليا فوق سطح التربة فإنها تستقيم وتعتدل وتتكون الأوراق والكلوروفيل بطريقة طبيعية وتأخذ حجمها الطبيعى. وفى وجود الظلام فى هاتين الحالتين فى الإنبات الأرضى والهوائى فإن قمة السويقة الجنينية العليا أو السفلى تظل منحنية كما هى وتصبح فائقة الطول وأوراقها صغيرة غير متكشفة تماماً ولونها أخضر باهت أى مصفر ومن ذلك يتضح أن للضوء تأثير هام فى هذه الحالة على إستقامة السويقة الجنينية وعلى تكشف الأوراق وعلى تكوين الكلوروفيل والطول العادى.

ومن ذلك يتضح أن النبات النامى فى الظلام شاحب فى اللون والقمة ملتوية والأوراق صغيرة وغير متكشفة ولونها أصفر باهت كما أنه يكون زائد الطول.

أما فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة فإن الإنبات يختلف بإختلاف النبات ففى العائلة النجيلية (شكل ٢٢٥) فإن الريشة توجد داخل غمد يسمى غمد الريشة وذلك عند إنبات الحبوب. ولذلك فإن القمة النامية والريشة محفوظة طبيعياً بداخل غلاف يسمى غمد الريشة ولذلك فإن نمو الريشة يكون مستقيماً تماماً تحت سطح التربة وهكذا حتى يخترق غمد الريشة سطح التربة وبعد ذلك تخرج الريشة من غمد الريشة وتتكون الورقة الأولى بالشكل الطبيعى واللون الأخضر الطبيعى وهنا لايحتاج النبات إلى وجود الإنحناء تحت سطح التربة كما فى حالة المثالين السابقين حيث أن الريشة محمية طبيعياً بغلاف خاص وفى هذه الحالة يوجد طول زائد فى

حالة الشحوب الضوئى بغمد الريشة كما أن الورقة تكون صغيرة وغير متكشفة أى ضعيفة التكشف ولونها أصفر باهت. وتوجد حالة أخرى من الإنبات كما فى حالة إنبات البصل وهو من نباتات الفلقة الواحدة أيضاً وفى هذه الحالة يحدث الأنبات ويخرج جزء من الفلقة من البذرة ويتكون الجذير وتكون السويقة الجنينية السفلى منحنية وتحمل طرف الريشة لأعلى ثم تستقيم. والأنحناء فى السويقة الجنينية السفلى يحمى الريشة والجزء الطرفى من الإحتكاك بالتربة. ومن ذلك يتضح أنه فى وجود الظلام فإنه يتم تكوين الركبة ويصبح النبات طويل وشاحب اللون والريشة لم تتكشف بعد.

وفى جميع الحالات السابقة يتضح أن الضوء له تأثير فى تكوين البادرات بدرجة كبيرة كما أنه يساعد على تكوين اللون الأخضر الطبيعى أى أنه يساعد على تحويل البلاستيدات الخضراء الشاحبة etioplasts إلى بلاستيدات خضراء عادية chloroplasts. كما أن للضوء دور فى تكشف الأوراق وتكوينها بالشكل والحجم الطبيعى. وفى بعض أنواع الإنبات يكون له دور فى إستقامة السويقة كما فى القطن والخيار والبسلة والفلقة فى البصل وفى جميع الحالات يقلل من طول السويقة وغمد الريشة والفلقة.

وقد إتضح فيما بعد أن الضوء الأحمر هو المسئول عن photomorphogenesis فى البادرات ومنها أستقامة القمة المنحنية للسويقة الجنينية العليا والسفلى وأيضاً يسبب قصر طول السويقة الجنينية فى البادرات العادية والشاحبة وأيضاً الحالات الأخرى وهى إصفرار النباتات وتحولها للون الأخضر وتحول الأوراق الصغيرة إلى أوراق عادية خضراء يتحكم فيها الضوء الأحمر. كما وجد أن الضوء الأحمر البعيد FR له تأثير معاكس لتأثير الضوء الأحمر. فعند تعريض النباتات للـ FR بإستمرار فإن البادرة لن تأخذ الشكل الطبيعى وتستمر قمتها منحنية إلى أسفل وقد وجد نفس التأثير المعاكس لكلا نوعى الضوء أيضاً عند إستخدام الومضة الضوئية.

فعند إستخدام اللون الأحمر البعيد ثم اللون الأحمر فإنه يحدث تحول البادرات إلى الحالة الطبيعية وعند إستخدام العكس وهو الضوء الأحمر ثم الأحمر البعيد فإن البادرات تظهر حالة الشحوب الضوئى وهكذا فإن التأثير يكون لآخر نوع من أنواع الومضةالضوئية.

ففى حالة R ثم FR ثم R تكون البادرة طبيعية.

فى حالة R ثم FR ثم R ثم FR تكون البادرة شاحبة ضوئيا.

٧ ـ وجد أن الضوء يؤثر على إنبات بعض بذور الحشائش كما فى الحالة السابقة لبذور الخس ومن هـذه الحشائش *Rumex obtusifolius* و *Chenopodium album* و *Plantago major* . حيث تتأثر حالة إنبات البذور بالضوء الأحمر والأحمر البعيد كما فى حالة بذور الخس تماما.

٨ ـ وجدت بعض الحالات مماثلة فى النباتات السرخسية والحزازية. فقد وجد أن جراثيم النبات السرخسى *Osmunda* تحتاج إلى الضوء لكى تنبت وتتأثر فى ذلك بالضوء الأحمر والأحمر البعيد كما فى حالة فى بذور الخس تماما. كما وجد أن النبات الحزازى ماركنتيا *Marchantia* يحتاج إلى الضوء لتكوين الجسم الخضرى للنبات ويتأثر فى ذلك أيضا بالضوء الأحمر والأحمر البعيد. فى جميع الحالات السابقة يتضح أن أى حالة أو ظاهرة أو عملية تتأثر عكسيا بالضوء الأحمر والأحمر البعيد فإن صبغة الفيتوكروم تكون هى الصبغة المسئولة عن ذلك.

كيفية التعرف علي تركيب الفيتوكروم

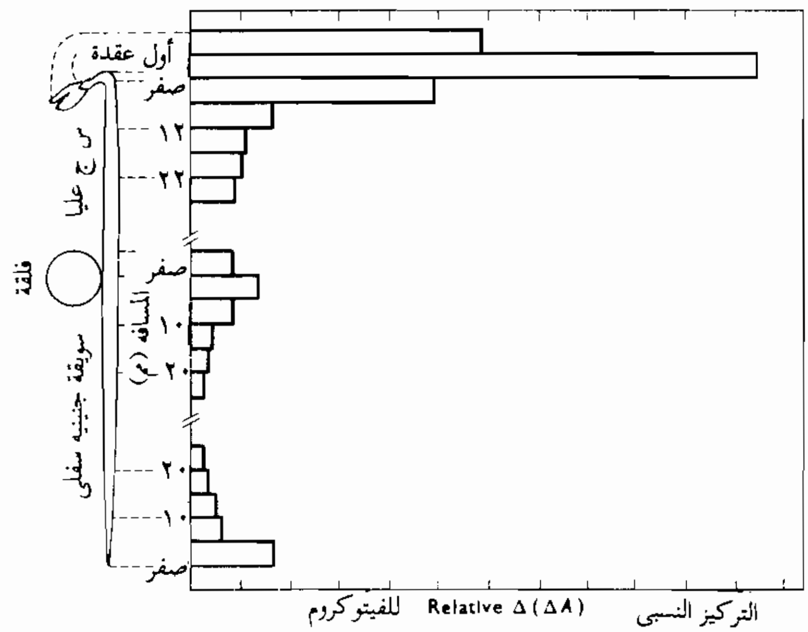
بعد عمل تجارب كثيرة أثبتت وجود الفيتوكروم فقد كان لزاماً عزل الفيتوكروم والتعرف على تركيبة. قد تمكن زملاء Borthwick & Hendricks وأهمهم Siegilman و Butler و Norris من أستخلاص صبغة وتنقيتها جزئياً لها كثير من صفات الفيتوكروم. وجد أن الفيتوكروم يتكون من جزء بروتينى وجزء آخر ملتصق

به يسمى prosthetic group يتكون من حلقة مفتوحة من تيترابيرول open-chain . tetrapyrrole type

توجد أدلة على أن الفيتوكروم يختلف فى تركيبه الجزيئى وفى ثباته وفى حركيات تحوله من صورة إلى أخرى kinetics of conversion ولذلك فإنه يوجد فى حالات مختلفة داخل الخلية. وجد أيضاً أن الفيتوكروم يشابه فى تركيبه جزيئ صبغة الفيكوسيانين phycocyanin الموجودة فى الطحالب الخضراء المزرقة. أتضح أيضاً أن حالة Pfr من الفيتوكروم تكون أقل ثباتاً من حالة Pr حيث يحدث لها عملية دنتره denaturation بسهولة بواسطة تركيزات عالية من اليوريا ويسهل أيضاً مهاجمة الجزيئ بواسطة بعض المركبات مثل P-chloromercuribenzoate والتى تتحد بمجموعة SH الموجودة فى البروتين. تعتبر حالة Pr أكثر قابلية للتأثر بالألدهيدات مثل الفورمالدهيد والجلوتار ألدهيد glutaraldhyde. وبعمل تجارب بأستخدام الومضات ذات الطاقة العالية للتحليل الضوئىhigh-energy flash photolysis بأستخدام أجهزة متقدمة أمكــن إثبات أن تحــول Pr إلى P_{fr} أو العكس لا يحدث فى خطوة واحدة بل توجد حالات وأشكال من الفيتوكروم وسطية بين هاتين الحالتين transient intermediates .

تعتبر أفضل طريقة لإستخلاص الفيتوكروم هى أستخلاصه من بادرات شاحبه ضوئياً أى نامية فى الظلام لنباتات ذات فلقة واحدة مثل الزمير والراى كما يمكن إستخلاصه من بادرات ذوات الفلقتين مثل البسلة. يمكن إستخلاص الفيتوكروم من نباتات عادية غير شاحبة ضوئياً بصعوبة. يختلف تركيز الفيتوكروم فى أجزاء البادرة الشاحبة (شكل ٢٢٦). يتم أستخلاص الفيتوكروم من غمد الريشة لبادرات شاحبة ضوئياً لنبات الزمير وذلك بسحقها فى محلول منظم له درجة pH أعلى من ٧,٣. وحيث أن تركيز الفيتوكروم قليل جداً فإنه يلزم إستعمال كميات كبيرة من الأنسجة والمحلول المنظم المستعمل فى الأستخلاص. وحيث أن البروتين يدخل فى

تركيب الجزيئ ولذلك يلزم أن يكون الأستخلاص فى درجة حرارة منخفضة حوالى صفر درجة مئوية حيث أن البروتين فى درجات الحرارة العادية يمكن أن يتغير فى تركيبه أو صفاته بسهولة أثناء الأستخلاص علاوة على ذلك يضاف عامل مختزل مثل مركابتو إيثانول mercaptoethanol أثناء عملية الأستخلاص. تجرى عملية الأستخلاص فى ضوء أخضر معتم حيث يكون الفيتوكروم فى صورة Pr وثابت على هذه الصورة أو الحالة بدرجة كبيرة .تجرى خطوات الأستخلاص كما فى الشكل (شكل ٢٢٧).



(شكل ٢٢٦) : توزيع الفيتوكروم فى بادرة بسلة شاحبة ضوئياً.

يمكن أيضاً عزل وتنقية الفيتوكروم بواسطة طريقة immuno-affinity chromatography وقد أمكن بإستعمال هذه الطريقة الحصول على كمية كبيرة من الفيتوكروم الزائد النقاوة highly purified وفيما يلى ملخص لهذه الطريقة (شكل ٢٢٨).

TISSUE + BUFFER

↓

HOMOGENIZATION

↓

CENTRIFUGATION

↓

CONCENTRATION

↓

ADSORPTION CHROMATOGRAPHY
(BRUSHITE)

↓

AMMONIUM SULPHATE PRECIPITATION

↓

ION EXCHANGE CHROMATOGRAPHY
(DEAE-CELLULOSE)

↓

AMMONIUM SULPHATE PRECIPITATION

↓

ADSORPTION CHROMATOGRAPHY
(HYDROXYLAPATITE)

↓

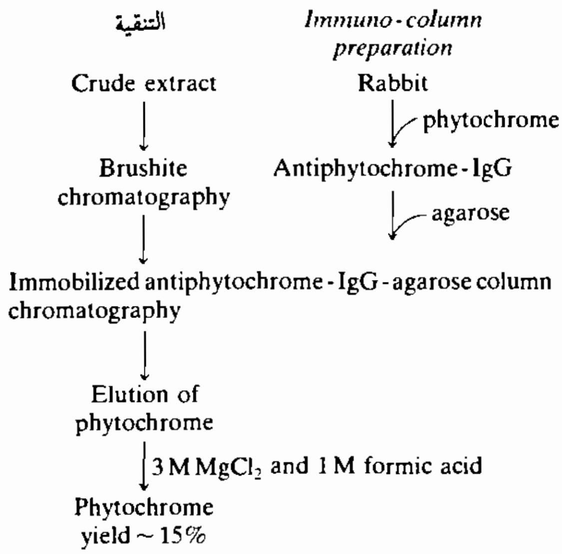
AMMONIUM SULPHATE PRECIPITATION

↓

GEL FILTRATION
(BIO-GEL)

(**شكل ٢٢٧**) : خطوات أستخلاص الفيتوكروم من بادرة زمير شاحبة ضوئياً.

يمكن أيضاً عزل وتنقية الفيتوكروم بواسطة طريقة hydrophobic affinity chromatography. يمكن تلخيص فكرة هذه الطريقة فى أن الفيتوكروم يرتبط بالصبغة فى الأجاروز أى يكون agrose-immobilized Cibacron blue dye. وقد تمكن Smith & Daniels عام ١٩٨١ من تطوير طريقة Affinity-Gel Blue chromatography وأمكن الحصول على فيتوكروم زائد النقاوة حيث أن SAR تتراوح بين ٨٨, إلى ١,١٥ وذلك فى بادرات الراى. تعتبر SAR مقياس لدرجة نقاوة الفيتوكروم وكلما زادت درجة النقاوة كلما زادت القيمة.



(شكل ٢٢٨) : Immuno-affinity chromatographic method .

تعتبر SAR إختصار لـ specific absorbance ratio عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر وطول موجة أخرى ٢٨٠ نانومتر. حيث يتم قياس أمتصاص الصبغة Pr عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر ويتم قياس إمتصاص الأحماض الأمينية الأروماتية الناتجة عن تحلل بروتين الفيتوكروم aromatic amino acid residues عند طول موجة ٢٨٠ نانومتر.

حيث أن SAR = AA660/ A280

حيث أن A هى درجة إمتصاص الضوء Absorbance .

وفيما يلى ملخص للطريقة التى إستعملها سميث ودانيلز (شكل ٢٢٩).

تعتبر طريقة immuno-affinity ذات مزايا عديدة ولكن العيب الوحيد فى هذه الطريقة هو صعوبة عمل عمود مضاد الفيتوكروم antiphytochrome column كما أنه من الصعب أن يعاد إستعماله.

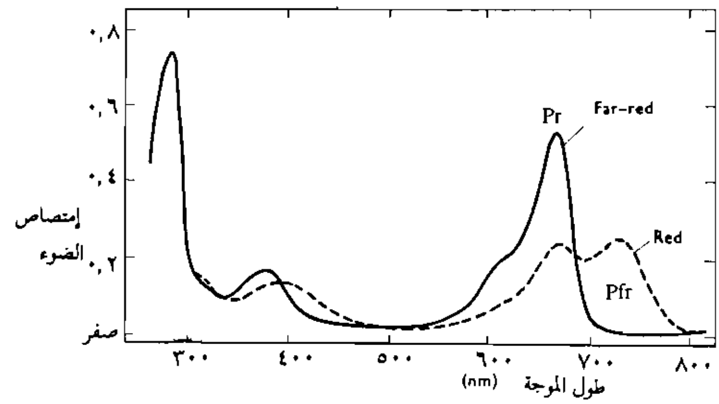
Crude extract
↓
Brushite chromatography
↓
Ammonium sulfate fractionation
↓
Affi-Gel Blue (BioRad) column chromatography
↓
Elution with 10 mM flavin mononucleotide (FMN)
↓
Gel filtration chromatography
↓ BioGel A1.5 m
Phytochrome. yield ~ 10–25%

(شكل ٢٢٩) : Hydrophobic affinity chromatographic method.

وفى حالة إستعمال طريقة الصبغة الزرقاء Affinity - Gel Blue chromatography فإن محلول الإزالة eluting agent وهو عبارة عن FMN لابد وأن يتم تنقيته تماماً أولاً لأن ملوثات الفلافين مثل ليوميكروم lumichrome تلتصق بشدة بالفيتوكروم النقى وبذلك تؤثر على بعض خواص الفيتوكروم. يمكن تلافى العقبة السابقة بإستعمال FMN نقى تماماً وأيضاً منع تحلل الفلافين أثناء العزل والتنقية بإستعمال ضوء أخضر أثناء الإستخلاص والعزل والتنقية وحيث أن الفلافينات تمتص الضوء الأخضر فلابد من حماية FMN من الضوء.

يوضح طيف إمتصاص absorption spectrum صبغة الفيتوكـروم فى الحالتينPr و Pfr أنه فى حالة Pr تكون قمة الإمتصاص عند ٦٦٤و٣٧٨ نانومتر بينما فى حالة Pfr تكون قمة الإمتصاص عند ٧١٩ و ٣٩٢ نانومتر (شكل ٢٣٠) وقد تم عمل ذلك بإستعمال طريقة Affinity Gel Blue chromatography .

يعزل وينقى عادة الفيتوكروم فى الصورة Pr وهذا لايعنى أن الفيتوكروم لايمكن عزله فى الصورة Pfr. يحدث أثناء تنقية الفيتوكروم صعوبات كثيرة أهمها مايأتى:



(**شكل ٢٣٠**) : طيف الأمتصاص لصبغة الفيتوكروم بعد التعريض للضوء الأحمر أو الضوء الأحمر البعيد.

١ ـ يحدث أثناء التنقية تحلل للبروتين proteolysis حيث يتم إنفصال جزء بروتينى وزنه ستة آلاف دالتون من بروتين الفيتوكروم فى حالة Pr ولكن يمكن تقليل تحلل البروتين إلى أقل مايمكن أثناء التنقية فى حالة Pfr. أى أن درجة تحلل البروتين أثناء التنقية تكون كبيرة فى حالة Pr وقليلة فى حالة Pfr.

٢ ـ يكون تركيز الفيتوكروم ضئيل جداً فى الأنسجة النباتية.

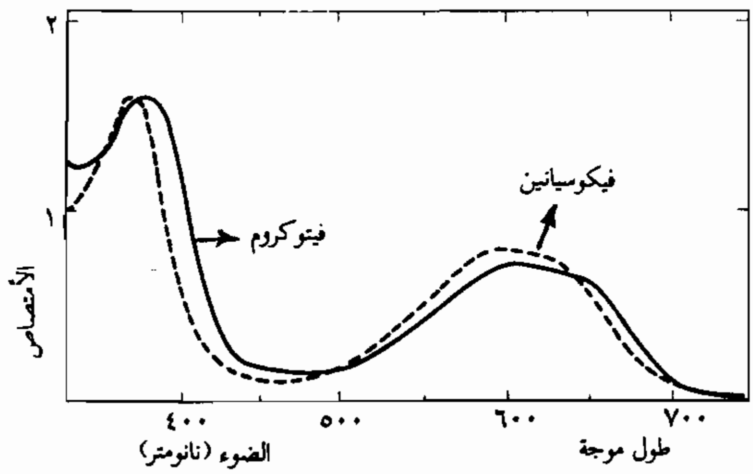
٣ ـ عدم الثبات الحرارى والكيموضوئى thermal and photochemical instability .

٤ ـ وجود مثبطات الفيتوكروم مثل مركبات saponins.

٥ ـ إختلال أوتوقف أو تغير طيف الإمتصاص للفيتوكروم نتيجة لوجود مركبات طبيعية فى النبات أو مضافة أثناء الإستخلاص والتنقية.

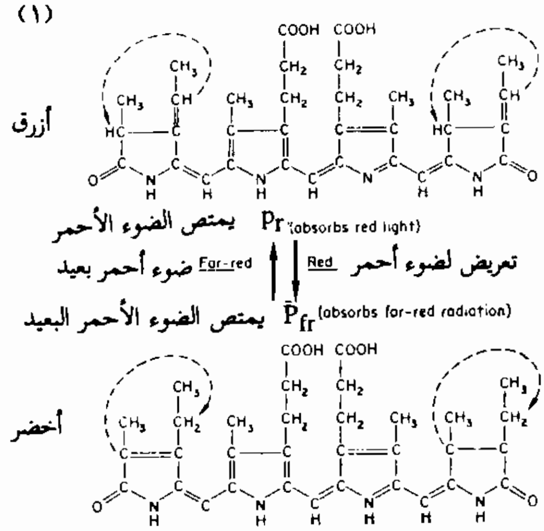
يتحول لون صبغة Pr وهو الأخضر المزرق بعدتعريضه للأشعة الحمراء إلى لون صبغة Pfrوهو الأخضر. يمتص Pfr الضوء الأحمر البعيد ويتحول مرة أخرى إلى Pr. يلاحظ إختلاف لون صبغة الفيتوكروم فى الحالتين وهما الأخضر المزرق والأخضر. وجد أن الضوء الأحمر يسمح بتحول عكسى لجزء من Pfr إلى Pr وذلك إلى حدما وبتركيز قليل ولذلك فإن تعريض الفيتوكروم للأشعة الحمراء

المركزة ينتج عنه مخلوط من الحالتين بتركيزات مختلفة وهى ٨٠٪ Pfr و٢٠٪ Pr. ولكن فى حالة تعريض الفيتوكروم للأشعة الأحمر البعيد المركزة ينتج ٣٪ Pfrو ٩٧٪ Pr. ولذلك فإن طيف التأثير action spectra والمؤثر على الإستجابة للعمليات الفسيولوجية لحالتى صبغة الفيتوكروم قد دعى Hendricks ومساعدوه إلى الإعتقاد بوجود تشابه بين التترابيرول tetrapyrrole الموجود فى جزيئ الفيتوكروم وبين صبغة الفيكوسيانين الموجودة فى الطحالب الخضراء المزرقة. وقد أمكن إثبات ذلك عند دراسة طيف الإمتصاص absorption spectrum لمحلول نقى من الفيتوكروم. حيث وجد أنه مطابق لطيف الإمتصاص لصبغة الفيكوسيانين (شكل ٢٣١). أما عن طبيعة جزيئ التترابيرول فهو غير معروف بالضبط وذلك لصعوبة الحصول على كميات كبيرة منه تكفى لعمل التحاليل الكيماوية اللازمة ، وقد أمكن إستنتاج ميكانيكية تحول جزيئ التترابيرول من حالة Pr إلى Pfr والعكس ويكون نتيجة لزيادة آيون أو ذرة إيدروجين فى حالة Pr ونقص هذا الأيون أو هذه الذرة فى حالة Pfr (شكل ٢٣٢). ويعتقد البعض أن التغيير هو نتيجة لإنتقال موضع ذرتين إيدروجين على هذا الجزيئ (شكل ٢٣٢).

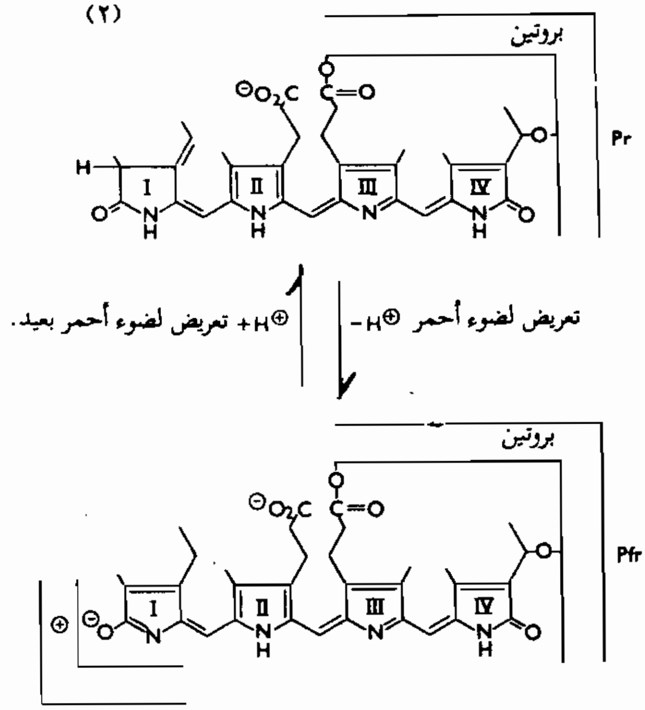


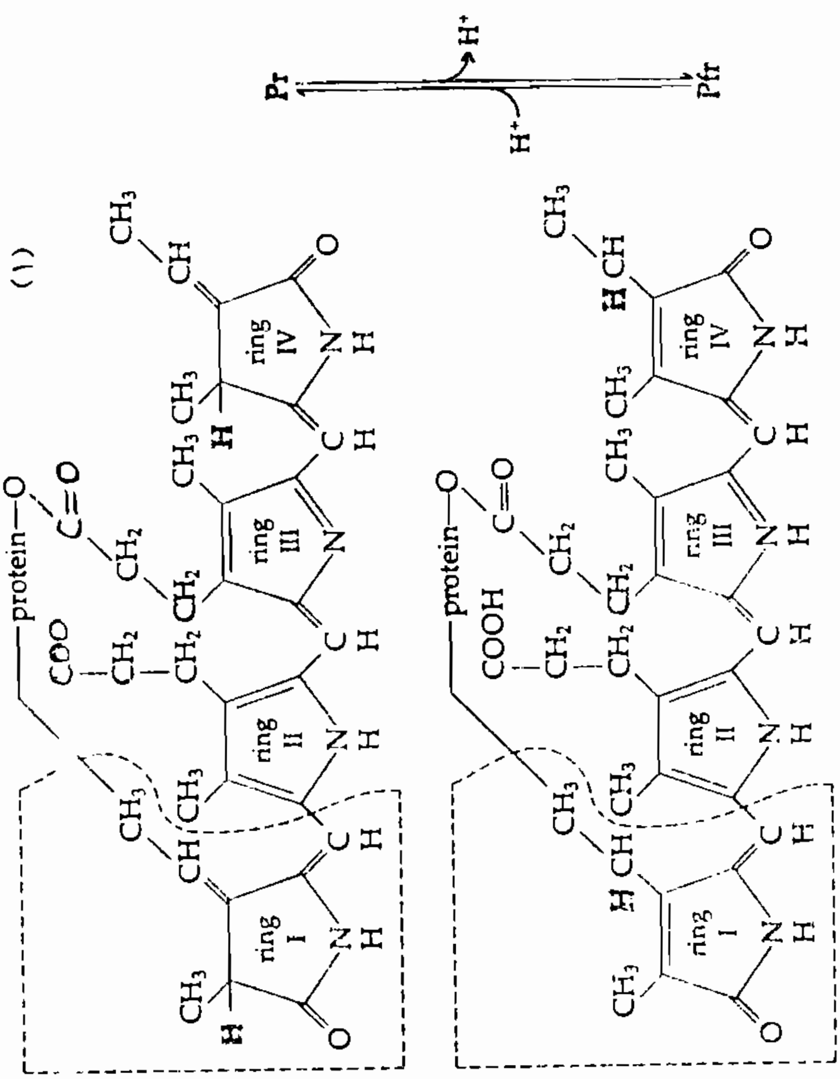
(شكل ٢٢١) : مقارنة بين طيف الإمتصاص للفيتوكروم وصبغة الفيكوسيانين .

(١)


COOH COOH
أزرق
يمتص الضوء الأحمر Pr (absorbs red light)
ضوء أحمر بعيد Far-red
Red تعريض لضوء أحمر
يمتص الضوء الأحمر البعيد Pfr (absorbs far-red radiation)
أخضر

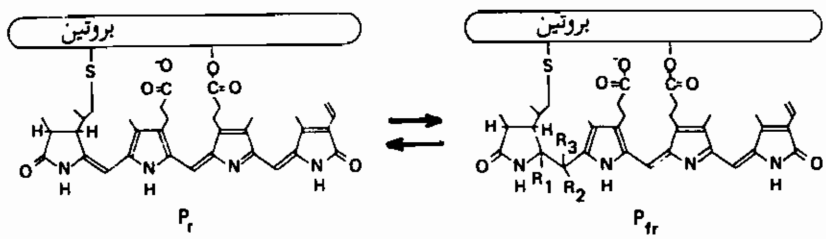
(٢)


بروتين
Pr
تعريض لضوء أحمر −H⊕
+H⊕ تعريض لضوء أحمر بعيد.
بروتين
Pfr



(شكل ٢٣٢) : التغيير فى التركيب الجزيئى للفيتوكروم ليتحول من P_{fr} إلى P_r والعكس صحيح. حالتين هما رقم ١ ورقم ٢.

أى أن ميكانيكية التحول من Pr إلى Pfr والعكس هو نتيجة لإختلاف موضع ذرتين إيدروجين أو نتيجة لزيادة ونقص أيون أوذرة إيدروجين أو تكوين رابطة مزدوجة ٤ ـ ٥ (شكل ٢٣٣). يمكن القول أن جزيئ الفيتوكروم يتكون من جزئين وهما جزء بروتينى وجزء آخر ملتصق تماماً بالبروتين أى prosthetic group تركيبه تترابيول tetrapyrrole ويسمى حامل اللون أى الكروموفور chromophore.



(شكل ٢٣٣): تحول P_r إلى P_{fr} والعكس فى وجود الضوء حيث تتكون رابطه مزدوجه ٤ ـ ٥ R_1 و R_2 وR_3 جزيئات غير معروف تركيبها بالضبط.

إتضح من تجارب المعامل المختلفة أن جزيئ الفيتوكروم فى الزمير وزنه الجزيئى ستون ألف دالتون. تمكن كوريل Corell من عزل الفيتوكروم من نبات الراى وكان له وزن جزيئى كبير ولكن بعض حفظه فى درجة حرارة منخفضة أصبح أقل وزناً. تمكن بريجس ومساعدوه عام ١٩٧٢ من تحضير فيتوكروم من الزمير وله وزن جزيئى كبير مائة وعشرون ألف دالتون وآخر له وزن جزيئى صغير ستون ألف دالتون. وبعد حفظ الفيتوكروم الثقيل والخفيف لمدة يوم فى درجة تتراوح بين صفر إلى ٤ درجة مئوية أصبح الفيتوكروم الثقيل ذو وزن صغير أى ستون ألف دالتون وظل الفيتوكروم الصغير محافظاً على وزنه. أمكن إثبات أنه أثناء عملية إستخلاص الفيتوكروم يوجد أنزيم بروتييز protease يحلل بروتين الفيتوكروم أثناء المراحل الأولى من الإستخلاص.

وأن هذا الأنزيم يحلل الفيتوكروم الثقيل إلى الفيتوكروم الخفيف الوزن ذو وزن جزيئى ستون ألف دالتون. يعتبر نبات الراى خال من هذا الأنزيم ولذلك من السهل الحصول على فيتوكروم ثقيل الوزن أى كبير الحجم. أمكن عزل هذا الأنزيم ومعرفة خواصه كما أمكن إجراء عمليات الإستخلاص للفيتوكروم بطرق أكثر دقة لتقليل تأثير هذا الأنزيم إلى حد كبير.

أمكن التعرف على تركيب الفيتوكروم الثقيل الوزن أى الكبير الحجم حيث يتكون من أحماض أمينية عديدة (جدول ٢٤) وهو ذو وزن جزيئى مائة وستون ألف دالتون ومستخلص من الراى.

(جدول ٢٤) : نوع وعدد جزيئات الأحماض الأمينية المكونة لبروتين الفيتوكروم الكبير الحجم المستخلص من الراي.

نوع الحامض الأميني	عدد الجزيئات
ليسين	٥٨
هستدين	٢٨
أرجنين	٤٧
حامض الآسبارتيك	١٠٤
ثريونين	٤٦
سيرين	٧٥
حامض الجلوتاميك	١٢٨
برولين	٨٨
جليسين	٧٧
آلانين	١١٠
سيستين	٥٢
فالين	٨٩
ميثيونين	٣٢
أيزوليوسين	٥٤
ليوسين	١١١
تيروسين	٢٣
فينيل آلانين	٤٣
المجموع	١١٦٥

إتضح من الدراسات السيريولوجية الحديثة والتى تشمل إستخدام الأمصال المضادة antisera الخاصة بجزيئات الفيتوكروم الكبيرة الحجم وأيضاً الصغيرة الحجم أن تحلل جزيئ الفيتوكروم ينتج عنه جزيئ فيتوكروم صغير وزنه ستون ألف دالتون وأيضاً بروتين لايحتوى على حامل ألوان chromophore. يتضح من ذلك أن جزيئ الفيتوكروم الكبير يحتوى على حامل ألوان واحد.

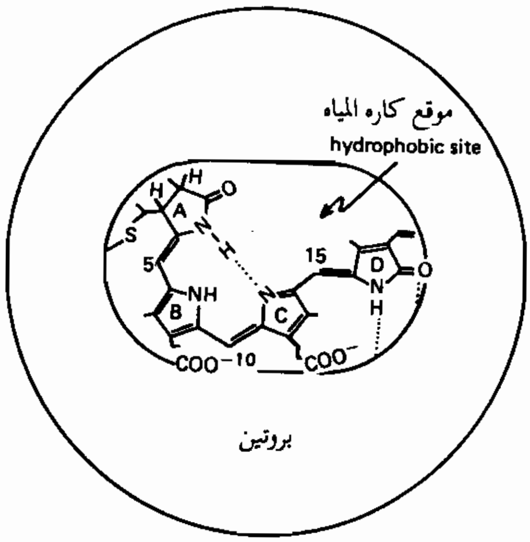
أمكن حديثاً بعد إستعمال أجهزة حديثة وطرق حديثة وضع تفسيرلكيفية التحول الضوئى phototransformation للصبغة Pr إلى الصبغة Pfr. يوجد أيضاً شرح أكثر دقة لتركيب الفيتوكروم فى الحالة Pr من رباعى البيرول chromophore tetrapyrrole يحاط بجزيئ بروتينى apoprotein يتصل رباعى البيرول بالبروتين بواسطة رابطة تعاونية عبارة عن إرتباط رابطة ثيوإثير thioether bond عن طريق ذرة الكبريت مع مجموعة الفينيل فى الحلقة vinyl group of ring AA. يمكن أيضاً أن يتصل حامض البروبيونيك فى سلسلة جانبية أى يرتبط تعاونياً مع البروتين ولو أنه لايوجد دليل أكيد على وجود هذه الرابطة الثانية. كما أنه يوجد شق فى حامل اللون chromophore أى فى رباعى البيرول عند إتصاله بالبروتين وتكون منطقة هذا الشق كارهة للماء hydrophobic.

يوجد أيضاً موقع آخر على البروتين كاره للماء وهذا الموقع هو الذى يتحد مع الفلافين أو مع الصبغة الزرقاء أثناء إختبار Affinity-Gel Blue dye (شكل ٢٣٤) وغير معروف بالضبط مكان الموقع على الجزء البروتينى. توضح هذه النظرية أن التحول الضوئى يسبب درجة معينة من الحركة لحامل اللون ونتيجة لهذه الحركة يصبح حامل اللون مكشوف ونتيجة لهذه الحركة يصبح الشق الكاره للماء الموجود فى حامل اللون معرض للخارج وبذلك يوجد سطح كاره للماء على جزيئ بروتين Pfr (شكل ٢٣٥). وقد يوضح هذا الشرح أو الشكل حركة البلاستيدة الخضراء فى وجود الضوء المستقطب فى حالة الطحلب *Mougeotia*. وغير معروف حتى الان ماهو سبب حركة حامل اللون أو سبب القوة الدافعة لحدوث الحركة. وقد أمكن

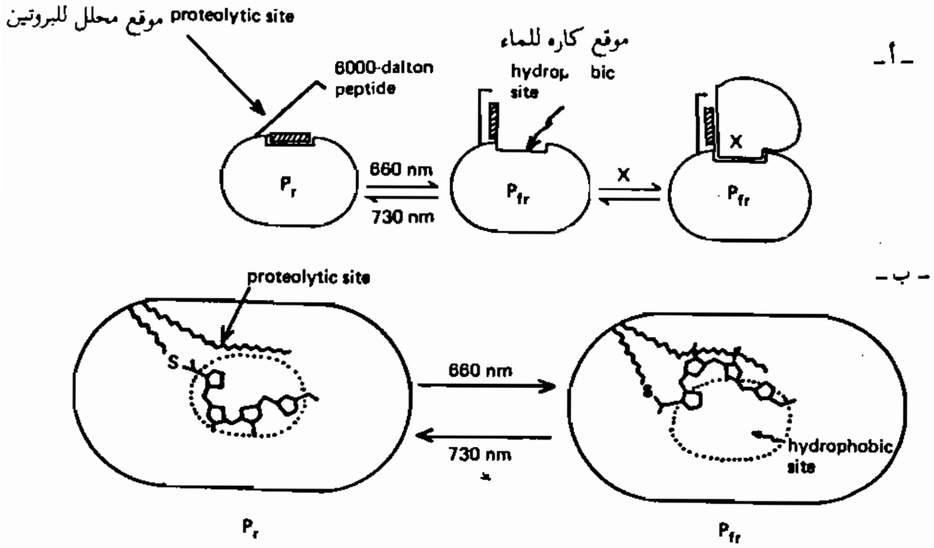
إثبات حركة حامل اللون نتيجة للتحول الضوئى وذلك بتثبيت الفيتوكروم على جزيئات سيفاروز Sepharose وذلك بإستعمال antiphytochrome immunoglobulin. وجد من حركيات التحول الضوئى dichroic photoconversion kinetics للفيتوكروم وجود قيم للزوايا وهى ٣٢ درجة أو ١٤٨ درجة وهى نتيجة للتغير فى إتجاه Qy-transition dipole أثناء التحول الضوئى فى الفيتوكروم وتوضح هذه النتيجة أنه توجد حركة مؤكدة ملموسة ومؤثرة لحامل اللون أثناء التحول الضوئى.

توزيع ومناطق وجود الفيتوكروم فى النبات:

يوجد الفيتوكروم فى كثير من الأنسجة غير الخضراء أى عديمة الكلوروفيل لأنواع عديدة من النبات. تستخدم البادرات الشاحبة ضوئياً etiolated أى النامية فى الظلام بكثرة فى دراسة الفيتوكروم. إتضح أن أعلى تركيز من الفيتوكروم وهو حوالى ١٠$^{-٦}$ جزيئى يكون فى المناطق النشيطة النمو مثل مكان إنحناء ريشة بادرة البسلة (شكل ٢٣٤) وعقدة غمد الريشة coleoptilar node لبادرة الزمير.



(شكل ٢٣٤): تركيب الفيتوكروم (Pr) مرتبط مع البروتين apoprotein عن طريق الرابطة ثيوإثير thioether (-S-). التجويف الهلالى الشكل يعتبر موقع كاره للماء hydrophobic site. يوجد مكان إضافى كاره للماء على البروتين يرتبط بالفلافين أو بالصبغة الزرقاء.



(شكل ٢٣٥) : تحول الفيتوكروم من Pr إلى Pfr.

أ ـ منظر جانبى يوضح شق هلالى الشكل فى حامل اللون يعتبر X غشاء غير معروف أو مستقبل.

ب ـ منظر قمى يوضح تحليل البروتين فيPr وينتج عنه جزيئ ذو وزن جزيئى قدره ستة آلاف دالتون.

يوجد الفيتوكروم فى الجذور والسويقة الجنينية السفلى والفلقات وغمد الريشة والسيقان وأعناق وأنصال الأوراق والبراعم الخضرية والزهرية والتخت والنورات كما يوجد فى البذور والثمار أثناء تكوينها . يوجد الفيتوكروم أيضاً فى الأنسجة الإبتدائية والثانوية.

يوجد الفيتوكروم فى النباتات الزهرية وعاريات البذور والحزازيات والسرخسيات والطحالب. يوجد إختلاف فى الفيتوكروم الموجود فى النباتات الزهرية أى الراقية عن الموجود فى النباتات الأولية مثل الطحالب والحزازيات. أحد الإختلافات الهامة بين الطحالب الخضراء مثل الطحلب الأخضر *Maesotaenium* والنباتات الحزازية مثل النبات الحزازى *Sphaerocarpus* ونبات الزمير هو حدوث إختلاف فى أطوال

الموجات الممتصة بواسطة Pr و Pfr حيث أن أطوال الموجات تكون أقصر فى الطحلب الأخضر عنه فى النبات الحزازى.ّوأن الأخير أقصر فى طول الموجة عنه فى النبات الزهرى الزمير. وأن طول الموجة فى الصنوبر أقصر من الزمير (جدول ٢٥).

(جدول ٢٥) : أطوال الموجات الممتصة بواسطة الفيتوكروم فى النباتات المختلفة

النبات	تصنيف النبات	حالة الفيتوكروم	طول الموجة الأمثل فى التأثير (نانومتر)	
			Pr	Pfr
الزمير	نباتات زهرية	*in vivo*	٦٦٥	٧٣٥
الصنوبر	عاريات البذور	*in vivo*	٦٥٦	٧١٤
الزمير	نباتات زهرية	*in vitro*	٦٦٠	٧٢٥
Sphaerocarpus	نبات حزازي	*in vitro*	٦٥٥	٧٢٠
Maesotaenium	طحلب أخضر	*in vitro*	٦٤٩	٧١٠

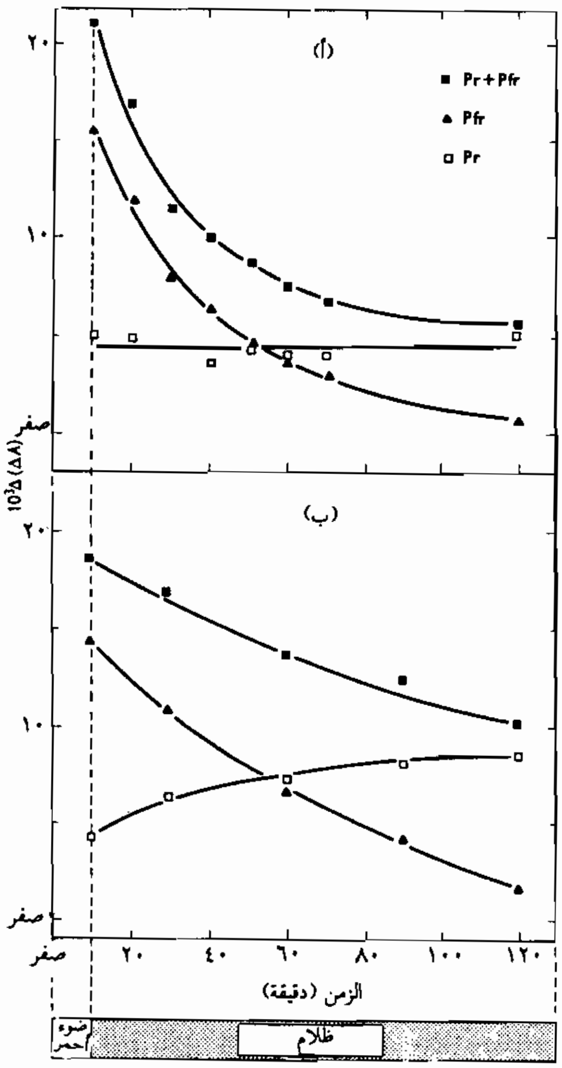
وجد أيضاً إختلافات فى نوع الفيتوكروم حيث إتضح نتيجة للإختبارات السيريولوجية أن أنواع الفيتوكروم فى النباتات الزهرية تختلف فيما بينها. فقد وجد أن المصل المضاد antiserum لفيتوكروم الزمير يمكن أن يتفاعل جزئياً مع فيتوكروم الراى ولكنه يتفاعل بدرجة ضعيفة جداً مع فيتوكروم البسلة. يتضح من ذلك أنه يوجد تقارب أو تشابه جزئى بين فيتوكروم الزمير والراى ولايوجد ذلك أو ضعيف جداً بين الزمير والبسلة. يتضح من ذلك أن الفيتوكروم يختلف فى نوعه من نبات إلى آخر تبعاً للتطور.

تحول Pfr أثناء الظلام Dark Transformations:

يوجد الفيتوكروم فى البادرات الشاحبة ضوئياً أى النامية فى الظلام فى حالة ثابتة

مستقرة stable فى صورة Pr. بعد تحول Pr فى وجود الضوء الأحمر إلى Pfr فإن الأخير يكون غير ثابت وغير مستقر unstable حيث يحدث له تحلل decay أو تحطيم destruction. يمكن قياس درجة التحطيم بواسطة درجة النقص فى تحول Pfr فى وجود الضوء الأحمر البعيد إلى Pr أى photoreversibility. كما توجد أدلة أيضاً على حدوث نقص فعلى فى عدد جزيئات الفيتوكروم. تحتاج عملية التحطيم إلى وجود الأكسجين ويمكن تثبيط عملية التحطيم بأحد مثبطات التحول الغذائى metabolic inhibitors مثل أزيد الصوديوم sodium azide. يقل تركيز الفيتوكروم بدرجة كبيرة نتيجة للتعريض المستمر للضوء الأحمر، وعندما يقل التركيز عن حد معين هو الحد الحرج أو القيمة الحرجةcritical value فإنه يتم تخليق فيتوكروم جديد بواسطة النبات فى صورة Pr وعندئذ يحدث توازن بين سرعة التخليق وسرعة التحطيم للفيتوكروم. يمكن التمييز بين تحول الفيتوكروم من صورة إلى أخرى أو تحطيمه حيث أن كلاهما يحدث فى النبات كما فى الشكل (شكل ٢٣٦).

عامة يوجد فى النبات العادى توازن بين تخليق وتحطيم الفيتوكروم يمكن تلخيصه فى أن تعريض Pr للضوء الأحمر ويرمز لهhv أى طاقة حيث أن hهى ثابت بلانك Planck's constant و v هى ذبذبة الضوء الأحمر فإنه تحدث له تفاعلات عديدة يرمز لها بالرمز d وهى إختصار لتفاعل الظلام dark reaction وفى النهاية يتحول إلى Pfr. يمكن أن ترتبط هذه الصبغة binding بأجزاء أو مركبات فى داخل خلية النبات وتفقد نشاطها أو يحدث لهذه الصبغة تحطيم destruction. تتحول Pfr تدريجياً فى الظلام إلى Pr. يمكن أيضاً أن تتحول Pfr فى وجود الضوء الأحمر البعيد والتى يرمز لها hv وفى تفاعلات عديدة متتابعة يرمز لها بالرمز d إلى Pr مرة أخرى. يتم تخليق الفيتوكروم فى خلية النبات synthesis على هيئة Pr. يمكن أيضاً أن يحدث تدهور وتحلل degradation للصورة Pr (شكل ٢٣٧).



(شكل ٢٢٦) : تأثير الظلام والضوء الأحمر على الفيتوكروم.

أ - تحول الفيتوكروم فى الظلام فى بادرة *Amaranthus* بعد تعريضها لضوء أحمر لمدة عشر دقائق فى درجة حرارة ٢٥ْم. يوضح الشكل تحطيم Pfr وغياب تحول Pfr إلى Pr فى الظلام.

ب - تحول الفيتوكروم فى الظلام فى السويقة الجنينية السفلى لبادرة عباد الشمس بعد تعريضها لضوء أحمر لمدة عشر دقائق فى درجة حرارة ٢٥ْم. يوضح الشكل تحطيم Pfr وتحول Pfr إلى Pr تلقائياً فى الظلام.



(**شكل ٢٣٧**) : ملخص لتفاعلات الفيتوكروم *in vivo*.

يمكن مقارنة ما يحدث لصبغة الفيتوكروم فى خلايا النبات *in vivo* وما يحدث لهذه الصبغة أثناء وبعد إستخلاصها من النبات *in vitro* (جدولى ٢٦ و ٢٧).

(جدول ٢٦) : تفاعلات الفيتوكروم *in vitro* و *in vivo*.

Reaction التفاعل	***In vitro***	***In vivo***
تخليق Synthesis	–	+
تحلل Degradation	–	+
تحول عكسي في الظلام Dark reversion	+	+
تحطيم Destruction (Decay)	–	+
دنتره Denaturation	+	–
إرتباط Binding	+	+

(جدول ٢٧) : تفاعلات الفيتوكروم في خلايا النبات وخارج خلايا النبات.

بعد الإستخلاص *in vitro*	**فى خلايا النبات *in vivo***	**Reaction التفاعل**
–	+	synthesis تخليق
–	+	degradation التحلل والهدم
+	+	dark reversion التحول فى الظلام
–	+	destruction (decay) التلف أو التحطيم
+	–	denaturation الدنتره
+	+	binding الإرتباط

مدى إنتشار الضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد فى بيئة النبات:

يعتبر الضوء العادى عبارة عن ضوء مركب من ألوان عديدة ومنها الضوء الأحمر وهو أيضاً غنى بالضوء الأحمر بالمقارنة بالضوء الأحمر البعيد.

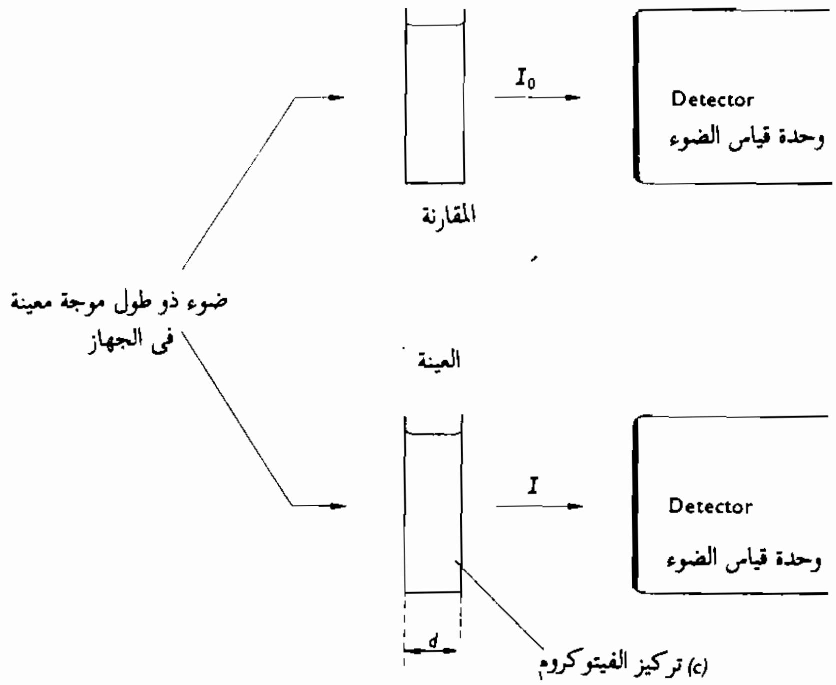
يحتوى النبات فى المعتاد على تركيز من الصبغتين وهما Pr وPfr ولكن فى أثناء النهار وفى وجود الضوء يمتص الضوء الأحمر وتصبح كمية كبيرة من الفيتوكروم فى صورة Pfr وفى حالة الغابات ووجود الأشجار المتكاثفة فإن الأوراق العلوية المعرضة للضوء تمتص الضوء الأحمر بشدة حيث أنه من المعروف أن الأوراق الخضراء تمتص الضوء الأحمر بشدة وبالتالى فإن الأوراق الخضراء الموجودة فى الأجزاء السفلية من الأشجار تستقبل كمية أقل من الضوء الأحمر وكمية أكبر نسبياً من الضوء الأحمر البعيد أى نسبة مرتفعة من الضوء الأحمر البعيد إلى الأحمر . ونتيجة لذلك يمكن أن يتكون وينشأ أنواع من الفيتوكروم تكون حساسة بدرجة كبيرة للضوء وتصبح مستقصية للضوء light detector .

كيفية تقدير تركيز الفيتوكروم Phytochrome assay :

يمكن تقدير التركيز بواسطة طرق لونية أو طرق سيريولوجية.

أولاً : الطرق اللونية Colorimetric:

يمكن تقدير تركيز الفيتوكروم بالطرق اللونية colorimetric وذلك بإستعمال جهاز يسمى spectrophotometer . وفى هذه الحالة يتم تقدير تركيز المركب بواسطة درجة تركيز اللون ويستعمل لذلك عينة قياسية blank وعينة أخرى تحتوى على المركب المراد قياس تركيزه بواسطة اللون أى مركب الفيتوكروم (شكل ٢٣٨) ويلاحظ أنIo هى شدة الإضاءة light intensity الخارجة من العينة القياسية أى عينة المقارنة control . بينما I هى شدة الإضاءة الخارجة من العينة المراد قياسها.



(شكل ٢٣٨) : فكرة إمتصاص الضوء بواسطة العينة في القياس بـواسطة جهاز spectrophotometer.

ومن الواضح أنه كلما قلت شدة الأضاءة الخارجة أى قلت I كلما زاد تركيز المحلول ويمكن قياس الضوء الخارج من العينة بواسطة photo cell أى خلية حساسة للضوء وتسمى detector .

ويتضح أن كمية الضوء الممتصة هى absorbance ويرمز لها بالرمز A حيث أنها تتناسب طردياً مع تركيز العينة المراد قياسها concentration ويرمز لها بالرمز C أى أن

$$A \alpha C$$

وأيضاً كلما زاد السمك لمقطع الأنبوبة (وهو distance أى الـ depth ويرمز له بالرمز d) كلما زادت كمية الضوء الممتصة.

ولذلك فإن الإمتصاص يتناسب طردياً مع قطر الأنبوبة أى أن:

$$A \ \alpha \ d$$

(١) التركيز (٢) قطر الأنبوبة «وتكون العلاقة طردية»

أى أن $A \ \alpha \ cd$

ويوجد ثابت يسمى extinction coeffecient ويرمز له بالرمز ε وهذا الثابت يكون قيمته واحد وذلك عندما يكون تركيز المحلول واحد جزيئى وقطر الأنبوبة واحد سم ولذلك يكون

$$A \ \alpha \ \varepsilon cd$$

لذلك فإن ε = A عندما يكون تركيز المحلول ١ جزيئى وسمك الأنبوبة ١سم. وقد وجد أن هذه القاعدة ثابتة فى حالة المحاليل النقية ولكن عند إستخلاص الكلوروفيل والفيتوكروم و الميتوكوندريا أو الأغشية من الخلية.. ألخ من عضيات الخلية أى أجزائها فقد وجد عامل آخر مهم يتدخل فى القياس وهو أن بعض الضوء الساقط على العينة ينعكس ويتبعثر ولايمتص أى أن جزء من الضوء الساقط يمتص وجزء ينعكس ويبتعد أى أن يحدث له تشتت scattering ولذلك فإن الإمتصاص الظاهرى apparent absorbance.

apparent absorbance = real absorbance + scattering

ولذلك فى حالة أجزاء الخلية النباتية والكلوروفيل والفيتوكروم يلزم إضافة B وهى عبارة عن معامل التشتت scattering factor أى أن .

$$A = B \ \varepsilon \ cd$$

حيث أن حساسية الجهاز تتوقف على نسبة تسمى singal-to-noise ratio. أى S/N.

وحيث أن S/N تتناسب طردياً مع I أي أن $S/N \alpha I$ حيث أن I شدة الضوء الساقط علي detector أى الـ photomultiplier.

وفى حالة قياس عينة يمكن قياسها على طولى موجة مختلفتين وطرحهما من بعض فإنه يمكن التغاضى عن الـ B أى الإنعكاس أوالتشتت scattering لأن التشتت للضوء سيكون تقريباً واحد فى العينتين ولذلك يمكن التغاضى عنه ولايدخل فى حساب الإمتصاص والفرق فى حساب الضوء الممتص بين العينتين يسمى ΔA.

وعند قياس عينة فى طول موجةA وقياس العينة فى طول موجه آخر A1.

ثم طرحهما من بعض فإن الناتج يكون عبارة عن فرق الإمتصاص ΔA

absorbance difference = قوة الأمتصاص = $\Delta A = A - A1$

وهنا يكون التشتت متساو تقريباً أى واحد وبالتالى يلغى التشتت. ولقياس تركيز الفيتوكروم يجرى تعريض الفيتوكروم لضوء أحمر ثم أحمر بعيد أى العكس ويتم قياس الضوء الممتص فى كل حالة ثم يتم طرحهما للحصول على ΔA أى فرق الإمتصاص.

وعند إستعمال فيتوكروم معين أو حتى كلوروفيل معين وحتى صبغة معينة أخرى مثل الكاروتين A أو B. عند تقدير إمتصاص هذه الصبغة للأنواع المختلفة من الضوء أى للأطوال المختلفة لأشعة الضوء ورسم ذلك على ورق بيانى على هيئة منحنى فيسمى ذلك بطيف الإمتصاص ويعتبر طيف الإمتصاص هو أفضل دليل بل الأكثر من ذلك فهو الدليل الوحيد لتعريف نوع الصبغة إذ أن كل صبغة فى النبات لها طيف إمتصاص معين ثابت ولذلك فإن طيف الإمتصاص هو الأساس فى التعرف وتمييز الصبغات الكثيرة الموجودة فى خلايا النباتات الراقية الزهرية وغير الزهرية.

فى حالة الفيتوكروم وهو أحد الصبغات الموجودة فى النبات يتم تقديره كما يلى (شكل٢٣٩). فإن الفيتوكروم يعرض لومضات ضوئية من الضوء الأحمر ثم

الأحمر البعيد أو العكس. ويرسم لذلك منحنى طيف الإمتصاص للفيتوكروم فى وجود الضوء الأحمر عند طول موجة ٦٦٠ نانومتر ثم الأحمر البعيد أى طول الموجة ٧٣٠ نانومتر مع إستعمال طول موجه مقارنة وهو ٨٠٠ نانومتر حيث لايحدث إمتصاص بواسطة الفيتوكروم.

$\Delta AFr = Y - Y_1$ بعد التعريض لضوء أحمر بعيد

$\Delta Ar = X - X_1$ بعد التعريض لضوء أحمر

$\Delta (\Delta A) = \Delta AFr - \Delta Ar$ = الفيتوكروم الكلى

$$\Delta (\Delta A) = (Y - y_1) - (X - X_1)$$

$$\therefore \Delta (\Delta A) = 2 B\varepsilon cd$$

ومن هنا يمكن تقدير تركيز الفيتوكروم أى تقدير C حيث أن d=1.

و ε ثابت وأيضاً B يمكن التغاضى عنها ويكون ناتج هذه المعادلة أنه يمكن تقدير التركيز الكلى للفيتوكروم وهو C.

ومن المعروف أن الفيتوكروم يمكن تقديره فى الأنسجة غير الخضراء حيث أنه يتواجد فى بتلات الأزهار البيضاء الخالية من الكلوروفيل ويمكن أن يتواجد أيضاً فى الأجزاء البيضاء من الأوراق المزركشة الخالية من الكلوروفيل ولكنه كما سبق القول أنه فى كثير من الأحيان يجرى تقدير للفيتوكروم فى الأنسجة الشاحبة التى تحتوى على تركيز قليل من الكلوروفيل وكماسبق القول لكى تقلل من التداخل فى إمتصاص الضوء بين صبغتين الكلوروفيل والفيتوكروم حيث أنه من المعروف أن الكلوروفيل أيضاً يمتص الضوء الأحمر بشدة والضوء الأزرق بشدة ولذلك فى حالة تقدير الفيتوكروم سيمتص أيضاً جزء من الكلوروفيل الضوء الأحمر ولذلك فإنه يلزم بقدر الإمكان الحصول على عينات فيتوكروم نقية لمنع التداخل بين إمتصاص الضوء الأحمر بواسطة الكلوروفيل والفيتوكروم. ومماهو جدير بالذكر أنه يوجد طريقة

مشابهة يمكن منها حساب قيمة الكلوروفيل التى تمتص الضوء الأحمر. وبذلك يجرى عملية تقدير للضوء الممتص الكلى ويطرح منها كمية الضوء الممتص بواسطة الكلوروفيل ويكون الصافى كمية الضوء الممتص بواسطة الفيتوكروم.

يمكن قياس تركيز الفيتوكروم بالطرق اللونية بشرح آخر خلاف ماسبق كمايلى.

وحيث يتم قياس تركيز الفيتوكروم بهذه الطرق *in vitro* وأيضاً *in vivo* .

تتوقف فكرة هذا القياس على أن الصبغة Pr عند إمتصاصها ضوء طول موجته ٦٦٠ نانومتر تقل درجة الإمتصاص حيث أن الضوء الأحمر يسبب تحويلPr إلى Pfr . تمتص الصبغة Pfr ضوء طول موجته ٧٣٠ نانومتر ثم تقل درجة الإمتصاص حيث أن الضوء الأحمر البعيد يسبب تحويلPfr إلى Pr . تعتبر كمية الفيتوكروم التى تم قياسها عبارة عن فرق الإمتصاص double absorbance difference ويرمز لها بالرمز (Δ A) Δ .

$$\Delta (\Delta A) = \Delta A_{fr}^{Pr} - \Delta A_{r}^{Pfr}$$

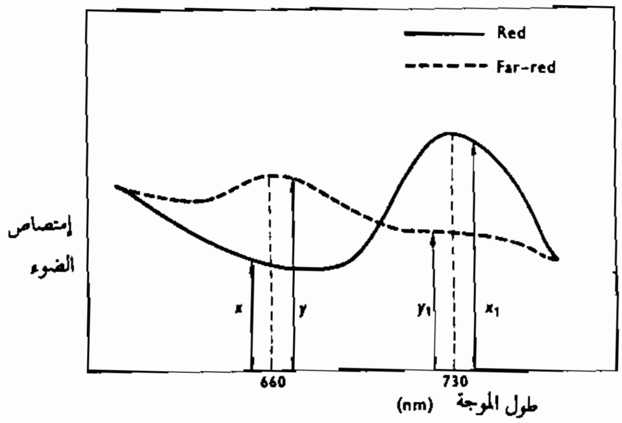
$$= (A\ 660 - A\ 730)_{fr}^{Pr} - (A660 - A\ 730)_{r}^{Pfr}$$

وحيث أن $\Delta A_{fr}^{pr} (A\ 660 - A\ 730)_{fr}^{pr}$

هو عبارة عن الفرق فى الإمتصاص بعد تعريض محلول Pr إلى ضوء أحمر بعيد.

وحيث أن $\Delta A_{r}^{pfr} = (A\ 660 - A\ 730)_{r}^{pfr}$

هو عبارة عن الفرق فى الأمتصاص لمحلول Pfr الناتج من تعريضPr إلى ضوء أحمر أى الناتج من ΔA_{fr}^{pr}



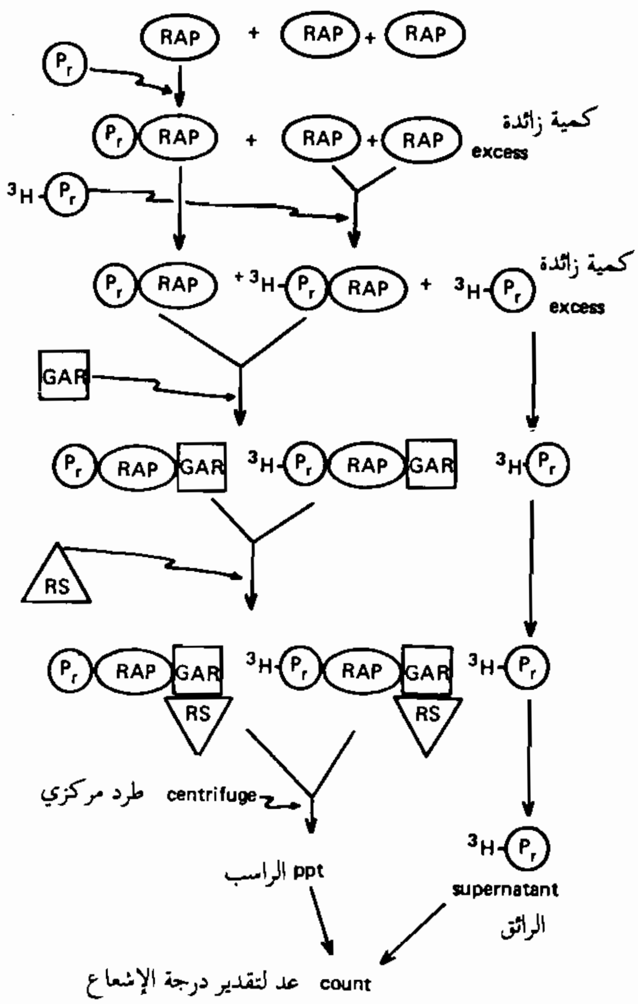
(شكل ٢٣٩) : تغير إمتصاص الضوء بواسطة الفيتوكروم فى أطوال الموجات المختلفة.

يتم قياس فرق الإمتصاص (Δ A) Δ بواسطة جهاز قياس للضوء هو "Ratiospect" photometer. يوجد أنواع عديدة مجددة لهذا الجهاز. والفكرة فى هذا الجهاز أنه عبارة عن صندوق صغير بسيط به مصدر للضوء (لمبة). ويمر الضوء على مرشحات filters ضوئية وهى مرشحات لاتنفذ أى نوع من الضوء إلا حزمة الضوء الأحمر وحزمة الضوء الأحمر البعيد red/far-red bandpass filters .

يمكن تركيب هذا الجزء مع أى جهاز spectrophotometer لقياس تركيز الفيتوكروم فى المستخلصات الغير نقية crude extracts أو فى المحاليل.

٢ ـ الإختبارات السيريولوجية Radioimmunoassay (RIA):

يمكن قياس تركيز الفيتوكروم بواسطة إحدى الطرق السيريولوجية وهى RIA. يمكن تلخيص هذه الطريقة (شكل ٢٤٠) فى أنه يمكن الحصول على أجسام مضادة للفيتوكروم وذلك بحقن الفيتوكروم النقى فى الأرانب ثم يتم إستخلاص المصل المضاد antiserum من الأرانب rabbit antiphytochrom serum (RAP).



(شكل ٢٤٠) : طريقة radioimmunoassay لتقدير الفيتوكروم.

RAP = مصل الأرانب المضاد للفيتوكروم (المصل المضاد)

^{3}H-Pr = فيتوكروم مشع Pr

GAR = المصل المضاد للماعز ويستعمل ضد الأرانب

RS = مصل الأرانب الغير منيع non-immune rabbit serum

يعامل الفيتوكروم المراد قياسه بالمصل المضاد فيتم إرتباط الفيتوكروم النقى بالمصل المضاد ويتبقى جزء من المصل المضاد حيث يتم أضافة فيتوكروم نقى Pr مشع لأنه يحتوى على إيدروجين مشع أى ^{3}H-Pr. يحدث إرتباط بين الفيتوكروم المشع والمصل المضاد ويحدث ترسيب ويتبقى كمية زائدة من الفيتوكروم Pr المشع . ثم يحقن إنتجين مأخوذ من الأرانب فى الماعز وبذلك نحصل على مصل مضاد لأنتجين الأرنب من الماعز ويسمى مصل مضاد للأرانب من الماعز goat antirabbit. يعامل المخلوط السابق بالمصل المضاد للماعز فيحدث إتحاد بين الأجسام المضادة لهذا المصل المضاد والفيتوكروم المرتبط بالأجسام المضادة للأرانب. لايرتبط المصل المضاد للماعز بالفيتوكروم وبذلك يتبقى الفيتوكروم المشع كما هو. ثم يضاف للمخلوط مصل الأرانب (RS) rabbit serum وليست المصل المضاد للأرانب. يحدث إتحاد بين مصل الأرانب RS مع الأجسام المضادة للماعز المرتبطة مع الفيتوكروم المشع أو الغير مشع وأيضاً RAP. وفى جميع هذه الحالات تبقى الكمية الزائدة من الفيتوكروم المشع حرة دون أى إتحاد مع أى من المركبات السابقة. يتم فصل الراسب عن supernatant بواسطة قوة طاردة مركزية. يحتوى الراسب والذى يسمى immunoprecipitate (ppt) على الفيتوكروم المتحد بالأجسام المضادة بينما يوجد الفيتوكروم المشع الحر فى supernatant . يتم تقدير تركيز الفيتوكروم المشع الحر فى supernatant وذلك بقياس درجة الأشعاع. كما يتم تقدير الفيتوكروم المشع المرتبط بالأجسام المضادة فى الراسب وذلك بقياس درجة الإشعاع.

يتم قياس وزن الراسب الكلى. ومن حساب الفرق بين كمية الفيتوكروم الكلية المضافة وكمية الفيتوكروم المشعة الحرة فى supernatant ينتج كمية من الفيتوكروم المشعة المرتبطة بالأجسام المضادة. ومن التقديرات المختلفة السابقة يمكن حساب تركيز الفيتوكروم فى عينة النبات.

تعتبر هذه الطريقة فائقة الحساسية حيث يمكن بها قياس تركيزات من الفيتوكروم تتراوح بين صفر إلى ٢٥ نانوجرام. كما يمكن بها أيضاً قياس تركيز

الفيتوكروم فى عينة غير مخففة من المستخلص النباتى الغير نقى crude extract لبادرة شوفان شاحبة ضوئياً ويكون حجم المستخلص واحد ميكرولتر.

يمكن إستخدام هذه الطريقة فى قياس تركيز الفيتوكروم فى أنسجة النبات الخضراء. وفى هذه الحالة بدلاً من إستعمال فيتوكروم مشع فيه الإشعاع فى ذرة الإيدروجين أى تكون تريتيم tritium (tritium labeled phytochrome) يستعمل فيتوكروم به يود مشع radio-iodinated phytochrome (^{125}I-phytochrome).

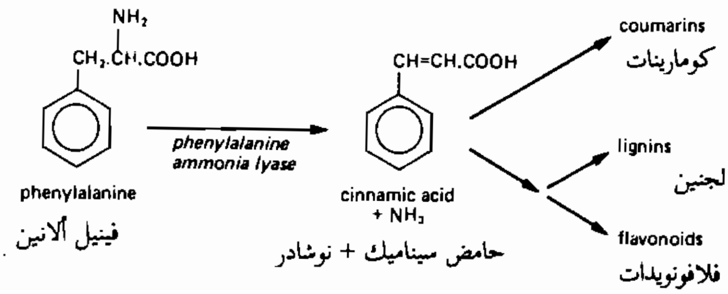
تأثير الفيتوكروم على نشاط الأنزيمات

تؤثر حالة صبغة الفيتوكروم Pfr على وجود ونشاط بعض الأنزيمات. وجد أن تكوين البادرة فى وجود الضوء أى photomorphogensis متوقف على وجود بعض الأنزيمات اللازمة لحدوث عملية البناء الضوئى ومن أمثلة ذلك أنزيم جليسر ألدهيد ٣ فوسفات ديهيدروجينيز glyceraldhyde-3-phosphate dehydrogenase ويكون لهذا الأنزيم دور فى البلاستيدة الخضراء كما أن نشاطه يتأثر عكسياً نتيجة لتحول Pr إلى Pfr.

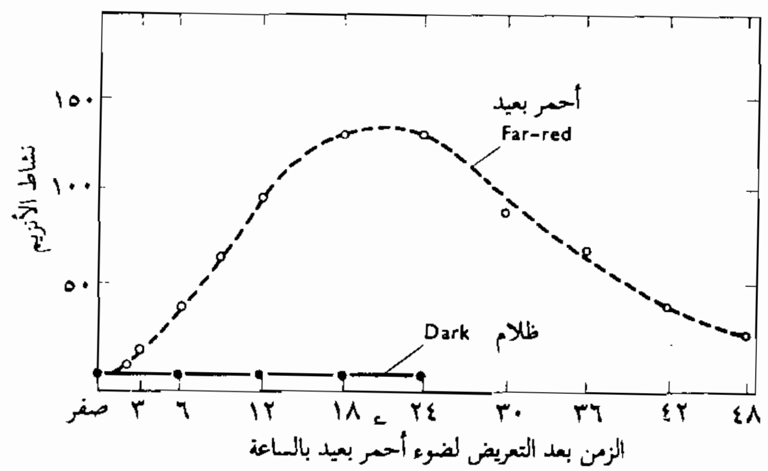
درس أيضاً أنزيم phenylalanine ammonia lyase والذى يظهر أيضاً حالة التغير العكسى للنشاط نتيجة لتحول Pr إلى Pfr. يقوم هذاالأنزيم بتحويل الحامض الأمينى فينيل ألانين إلى حامض سيناميك cinnamic acid وبذلك تتحول عمليات التحول الغذائى من تخليق البروتين إلى تخليق الفينولات ومن أمثلة المركبات الأخيرة صبغة الأنثوسيانين والفلافينويدات flavonoids. ينتج عن هذا التحول أيضاً تكوين اللجنين والذى يكون الجدر الثانوية للخلايا والكومارين المسئول عن رائحة بعض أنواع القش (شكل ٢٤١).

يوجد هذا الأنزيم بتركيزات منخفضة فى بادرات الخردل mustard النامية فى الظلام ويزداد هذا التركيز نتيجة لتعريضها للضوء. يتضح زيادة نشاط الأنزيم عند تعريضه إلى الضوء بعد الظلام ونتيجة لوجود Pfr (شكل ٢٤٢). توجد فترة lag

phase حوالى ساعة بعدها يزداد نشاط الأنزيم. يزداد نشاط الأنزيم تدريجياً حتى عشرون ساعة ثم يقل تدريجياً. وحتى الان لم يثبت بالدليل القاطع ميكانيكية تأثير Pfr على نشاط الأنزيم حيث يعتقد البعض أن هذه الحالة من الصبغة تساعد فى تخليق الأنزيم بينما يعتقد البعض الآخر أن هذه الحالة من الصبغة لها تأثير على نشاط الأنزيم الذى سبق تخليقه. ولكن يوجد إتفاق على أن Pfr ينتج عنها تخليق بعض الأنزيمات مثل أنزيم ascorbic acid oxidase .



(شكل ٢٤١) : نشاط أنزيم فينيل ألانين أمونيا ليز.



(شكل ٢٤٢) : حركيات kinetics أنزيم فينيل ألانين أمونيا ليز وذلك فى فلقة بادرة الخردل بعد التعريض لضوء أحمر بعيد.

نشاط الأنزيم يعبر عنه على أساس: Pmoles من حامض سيناميك متكونة لكل دقيقة لكل زوج من الفلقات.

وجد أن بعض الأنزيمات الأخرى تتكون وتنشط فى الظلام ويتم تثبيطها تماماً فى وجود Pfr مثل أنزيم lipoxygenase. لاتتأثر بعض الأنزيمات الأخرى بالضوء مثل أنزيم الكتاليز وأنزيم isocitrate lyase .

الفيتوكروم ونفاذية الخلايا

بالرغم أنه توجد حالات تثبت أن Pfr لها دور فى التأثير على الجين ومثال ذلك الحالة السابقة حيث أن Pfr ينشط تخليق بروتين الأنزيم ويكون ذلك عن طريق الجين أو الجينات. فإنه توجد حالات أخرى تثبت أن تأثير Pfr سريع جداً وبذلك لايكون هذا التأثير نتيجة لتأثير الجين على تخليق البروتين ومثال ذلك حركة نوم أوراق المستحية *Mimosa* واللبخ *Albizzia* أى dark closure or folding of leaflets .

يحدث هذا التأثير لحدوث تغير فى ضغط الإنتفاخ لخلايا الوسادة (شكل ٢٣٤) أى عضو الحركة pulvinus فى قاعدة الوريقات . يحدث التغير فى ضغط الإنتفاخ نتيجة لدخول أيونات البوتاسيوم وغيرها فى الخلايا البطنية ventral cells وخروجها من الخلايا الظهرية dorsal cells. نتيجة لهذا التأثير يعتقد أن التأثير الإبتدائى primary action للفيتوكروم يكون على نفاذية الغشاء.

وجد أن القمم النامية المقطوعة لجذور الشعير ونوع من الفاصوليا يسمى mungbean والمعرضة للضوء الأحمر تلتصق بالأسطح الزجاجية السالبة الشحنة. وقد وجد أن هذه الظاهرة تتأثر عكسياً بالضوء الأحمر والأحمر البعيد. حيث وجد أنه نتيجة للتعريض للأشعة الحمراء فإن الجزء القمى من القمة النامية يكون موجب الشحنة وذلك بالمقارنة بالجزء القاعدى من القمة المقطوعة ويكون ذلك نتيجة لتكون Pfr. وقد أمكن قياس فرق الجهد الكهربائى بين قمة وقاعدة القمة المقطوعة وإتضح أنه واحد ملليفولت millivolt وأنه يحدث بعد ثلاثون ثانية أى نصف دقيقة من التعريض للضوء الأحمر.



(شكل ٢٤٣) : تأثير الضوء البعيد على حركة الوريقات.
عرضت أعضاء الحركة pulvini عند قاعدة الوريقات الثانية والرابعة والسادسة إلى ضوء أحمر بعيد لمدة دقيقتين مباشرة قبل نقل الجزء بأكمله إلى الظلام. يلاحظ أن الضوء الأحمر البعيد منع حركة النوم للوريقات وظلت منفرجة وذلك فى نبات *Albizzia*.

أمكن حدوث نفس الحالة أيضاً فى غمد الريشة لبادرة الزمير. وجد أيضاً أن الضوء الأحمر يسبب تغيير فى تركيز أسيتيل كولين فى أنسجة بعض النباتات وقد يفسر ذلك على أنه تشابه بين تأثير Pfr فـى النبات وحالة الأحساس العصبى فى الحيوان an action potential in nerve fibers .

الفيتوكروم وتوجيه البلاستيدات الخضراء

إتضح من تجارب Haupt عام ١٩٦٠ إلى ١٩٧٠ أن حركة البلاستيدات الخضراء وتوجيهاً بالضوء فى الطحلب *Mougeotia* تقع تحت تأثير الفيتوكروم. كما أتضح أيضاً أن الفيتوكروم غير موجود بالبلاستيدة الخضراء بل موجود فى أو بالقرب من الغشاء البلازمى الأكتوبلاست. بإستخدام حزمة ضوئية microbeams وضوء

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

https://www.facebook.com/salam.alhelali

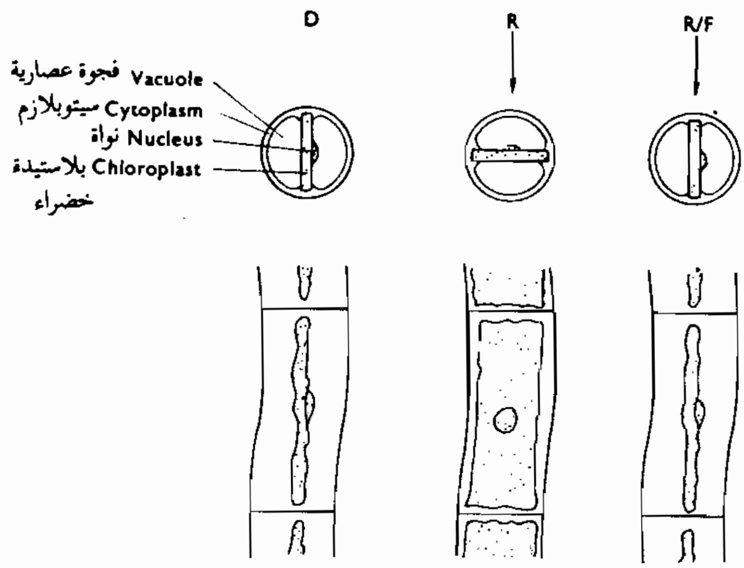
https://www.facebook.com/groups/Biothesis/

https://www.researchgate.net/profile/Salam_Ewaid

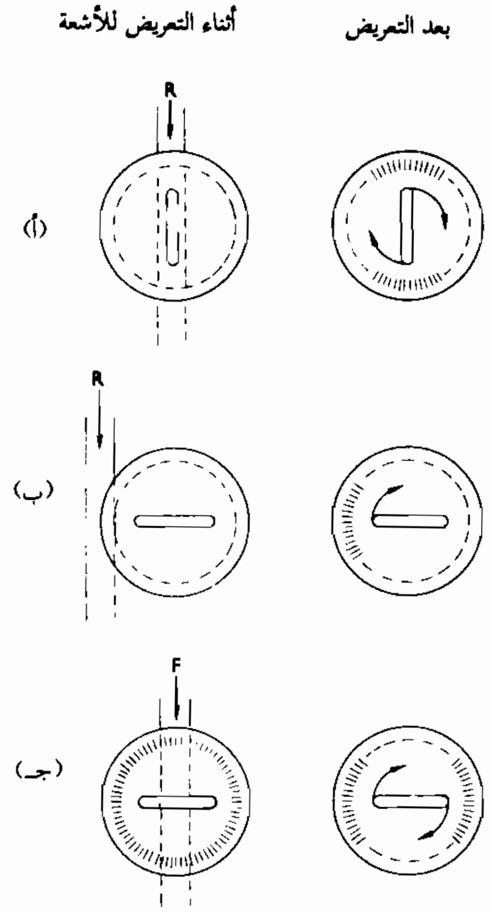
07807137614



مستقطب إتضح أن الصبغة Pr تمتص الضوء بأقصى درجة عندما تكون البلاستيدات موازية لسطح الخلية بينما تمتص الصبغة Pfr الضوء بأقصى درجة عندما تكون البلاستيدة الخضراء عمودية على سطح الخلية. معنى ذلك أنه عند تعريض الخلية لأشعة وحيدة الحزمة من الضوء الأحمر فإن Pr تتحول إلى Pfr بدرجة كبيرة عند مقدمة ومؤخرة الخلية وذلك بالمقارنة بدرجة التحويل عند جانبى الخلية. وعند إفتراض أن البلاستيدة الخضراء المسطحة الموجودة فى هذا الطحلب تتحرك بعيداً عن مناطق السيتوبلازم المحتوية على تركيز عال من Pfr وبذلك يمكن تفسير حركة وتوجيه البلاستيدة الخضراء (شكل ٢٤٤ و ٢٤٥).



(شكل ٢٤٤): توجيه حركة البلاستيدة الخضراء فى خلية طحلب *Mougeotia*
الصف العلوى قطاع عرضى فى خلية الطحلب والصف السفلى منظر سطحى لخلية الطحلب.
D- تعريض الطحلب للظلام.
R- موقع البلاستيدة بعد نصف ساعة من التعريض لضوء أحمر لمدة دقيقة.
R/F- وضع البلاستيدة بعد نصف ساعة من التعريض لضوء أحمر لمدة دقيقة ثم التعريض مباشرة لضوء أحمر بعيد.



(شكل ٢٤٥) : حركة البلاستيدة الخضراء فى الطحلب *Mougeotia*.

أ ـ خلية فى الظلام عرضت لحزمة ضوئية حمراء.

ب ـ خلية فى الظلام عرضت لحزمة ضوئية حمراء جانبياً .

جـ ـ خلية فى الضوء عرضت لحزمة ضوئية من الضوء الأحمر البعيد .

(الأسهم تشير إلى إتجاه حركة البلاستيدة الخضراء مع ملاحظة أن البلاستيدة تتحرك بعيداً عن مناطق Pfr) .

الفيتوكروم والأغشية

قد يوجد الفيتوكروم فى البلاستيدات وقد يوجد فى أجزاء أخرى من الخلية فقد يوجد فى السيتوبلازم أو فى الغشاء البلازمى الأكتوبلاست ويوجد إحتمال لوجوده فى الميتوكوندريا. يوجد الفيتوكروم فى الأنسجة المحتوية على البلاستيدات الخضراء كما يوجد فى الأنسجة عديمة البلاستيدات مثل الجذور. وجد أن بلاستيدات النباتات الشاحبة ضوئياً etioplasts مثل البلاستيدات الخضراء المعزولة من أوراق النجيليات يمكن أن تتأثر عكسياً بالضوء الأحمر والضوء الأحمر البعيد حيث تتأثر كمية الجبريللينات المنتشرة من هذه البلاستيدات وأيضاً يتأثر التركيب الدقيق ultrastructure لهذه البلاستيدات. يتضح من التجربة السابقة أن الفيتوكروم يوجد فى البلاستيدات.

تأثير الفيتوكروم على حركة الوريقات والرويشات

من المعروف أن بعض من النباتات ذات الأوراق الريشية أو الراحية أو المركبة الريشية المتضاعفة تحدث حركة فى وجود الليل والنهار . ففى وجود النهار تنبسط الوريقات وفى وجود الليل تضم الوريقات على بعضها وتشاهد هذه الحركة فى نبات الفول السودانى وفى أنواع من نبات السنط وأيضاً نبات اللبخ (دقن الباشا) *Albizzia* ونبات الست المستحية *Mimosa pudica*. وقد وجد أن هذه الحركة تتأثر باللون الأحمر واللون الأحمر البعيد فإنه عند تعريض الأوراق للضوء الأحمر البعيد لايحدث إنطباق للأوراق بينما فى وجود اللون الأحمر تنطبق الوريقات على بعضها. وقد وجد أن كلا النوعين من الضوء يلغى كل منهما تأثير الآخر . ومن المعروف أن هذه الحركة تحدث نتيجة لتغيرات فى الضغط الأسموزى موجودة فى أجزاء من قواعد النبات والوريقات تسمى الوسادة أو أعضاء الحركة pulvini وفى هذه الأعضاء يوجد نوعين من الخلايا وهى الخلايا البطنية ventral cells والخلايا الظهرية dorsal cells.

وقد وجد فى حالة وجود الخلايا البطنية فى حالة إنتفاخ تام أى لها ضغط أسموزى عالى نتيجة لوجود أيون البوتاسيوم بتركيزات عالية فإن الوريقات تكون منبسطة ومنفرجة. وعند انتقال أيونات البوتاسيوم وبعض الأيونات الأخرى بشدة إلى الخلايا الظهرية فإنه يحدث انكماش للخلايا البطنية وانتفاخ للخلايا الظهرية نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى لها وينتج عن ذلك إنطباق الوريقات على بعضها. يعتبر الجزء العلوى من الوسادة خلايا بطنية والجزء السفلى خلايا ظهرية.

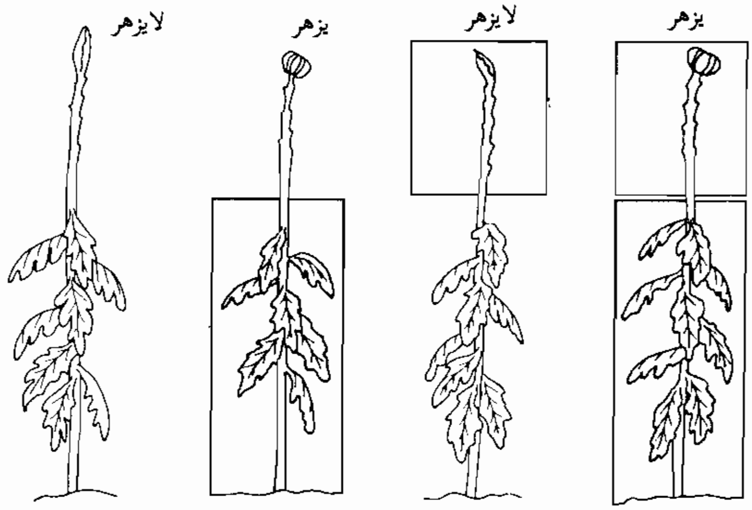
وقد وجد أنه يمكن عمل هذه الحالة فى النبات فى حالة وجود الضوء الأحمر حيث أن عند تعريض هذه الوريقات للضوء الأحمر لفترة معينة ثم نقله لغرفة مظلمة فإن الوريقات تنضم على بعضها. ولكن عند تعريض هذه النباتات لضوء أحمر بعيد ونقلها إلى غرفة مظلمة فلايحدث إنضمام للأوراق على بعضها . واتضح أن كلا النوعين من الضوء يلغى تأثير النوع الآخر.

ومن أحد هذه التجارب الفريدة فى هذا الموضوع أنه عند تعريض بعض الوريقات للضوء الأحمر البعيد دون البعض الآخر فى نفس الورقة المركبةثم تنقل للظلام فإن الأوراق المعرضة للضوء الأحمر البعيد لاتقفل على بعضها ولاتظهر حركة النوم ومن هنا يتضح أن الضوء الأحمر البعيد يمنع إنطباق الوريقات وحركة النوم والعكس صحيح فى الضوء الأحمر فإنه لايمنع ذلك (شكل ٢٤٣). ومن الجدير بالذكر أن نوعى الضوء يعكس ويلغى تأثير الضوء الآخر ولذلك فإن للفيتوكروم دور فى ذلك. وحيث أن فتح وإنطباق الوريقات يتأثر بإنتقال أيون البوتاسيوم وأيضاً الكلور من وإلى الخلايا الظهرية والبطنية فى عضو الحركة فبالتالى يمكن أن يكون للفيتوكروم دور فى التحكم فى نفاذية الخلايا.

هورمون (هورمونات) الأزهار

من أفضل التجارب التى أجريت فى هذا الموضوع هى للعالم الروسى Chailachjan حيث أجرى تجاربه على نبات الكريزانثيمم *Chrysanthemum* وهو

نبات قصير النهار (شكل ٢٤٦). قام بتعريض النبات لنهار طويل فلم يزهر النبات ثم قام بتعريض الأوراق لنهار قصير دون القمة والتى يتكون منهاالنورة أى الأزهار فقد حدث الأزهار. ثم قام بتعريض الجزء القمى لنهار قصير دون الأوراق فلم يحدث الإزهار. وبالطبع عندما قام بتعريض الأوراق والجزء القمى لنهار قصير فقد حدث إزهار. وقد إستنتج من هذه التجارب أن طول الفترة الضوئية يؤثر على إنتاج هورمون (هورمونات) الإزهار. وقد سمى هذه الهورمونات أو الهورمون بإسم فلورجين florigen وقد إستنتج أيضاً أن الجزء الحساس من النبات والذى يستجيب لطول الفترة الضوئية وله حساسية مفرطة لطول هذه الفترة هو الأوراق. وأن المركب أو المركبات التى يتكون منها هورمون الإزهار يتم تخليقها فى الأوراق وتنتقل منها إلى المناطق المرستيمية فى القمة النامية لتحدث الإزهار وذلك فى ظروف إضاءة مناسبة. ولازالت هذه الإستنتاجات صحيحة تماما حتى الآن.



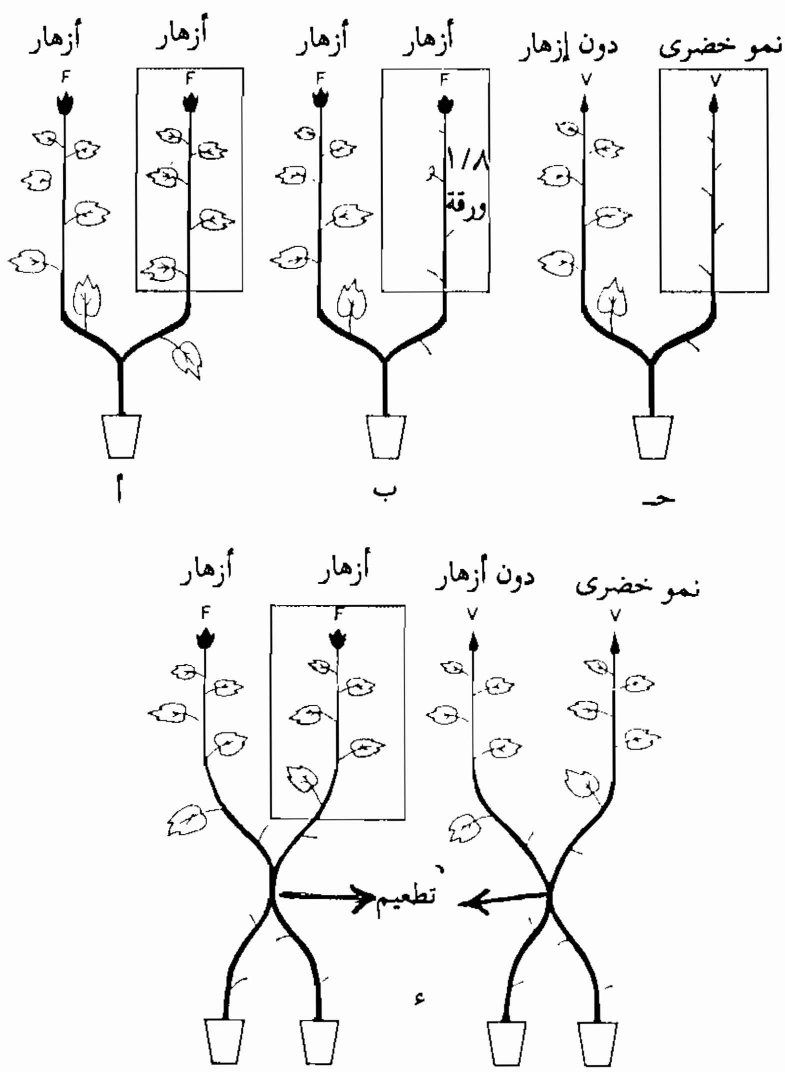
(**شكل ٢٤٦**) : إزهار نبات الكريزانثيمم نتيجة لتعريض الأوراق للضوء دون أى أهمية لتعريض القمة النامية. يوضح المستطيل تعريض الجزء النباتى لفترة ضوئية مناسبة .

قد أجرى هامنر Hamner عام ١٩٤٢ تجارب على نبات قصير النهار وهـو نبات *Xanthium* زانثيم. قد إتضح من تجاربه أن إزالة جميع أوراق النبات تسبب عدم أزهار النبات بالرغم من تعريضه لفترة ضوئية قصيرة. ولكن وجد أن ١/٨ ثمن الورقة فقط كاف لإزهار النبات بعد تعريضه لفترة ضوئية قصيرة لمدة كافية . يمكن للنبات أن يزهر عند وجود ورقة واحدة على أحد الفرعين وفى هذه الحالة يستعمل نبات ذو فرعين حيث تزال جميع الأوراق عدا ورقة واحدة من أحد الفرعين ثم تعرض هذه الورقة لفترةضوئية قصيرة مناسبة دون الفرع الآخر فيحدث إزهار للفرعين أى أن المنشط للأزهار أى الهورمون ينتقل من فرع إلى آخر. وجد أيضاً أن الهورمون ينتقل من نبات إلى آخر عند التطعيم حيث ينتقل من نبات إلى آخر عبر مكان التطعيم فعند تطعيم نباتين وتعريض أحدهما لنهار قصير فإن كلا النباتين يزهر (شكل٢٤٧). ويتضح من ذلك أن تجارب هامنر قد عضدت تجارب Chailachjan .

وفى تجارب أخرى تم تعريض نبات Xanthium لنهار قصير ثم تؤخذ قمة هذا النبات ويتم تطعيمها على نبات زانثيم معرض لنهار طويل فيتم الأزهار فى الوقت المناسب مما يثبت أن منشط أوهورمون الأزهار إنتقل من الطعم قصير النهار إلى الأصل طويل النهار عبر منطقة التطعيم وأحدث الأزهار بالرغم من أن الأصل لم يعرض إطلاقاً إلى نهار قصير.

وفى تجارب أخرى على نباتات من أجناس مختلفة ومنها نبات *Xanthium* ونـبات *Perilla* وهما من نباتات النهار القصير فعند أخذ ورقة من أحد النباتين بعد تعريضه لنهار قصير وتطعيمها على النبات الآخر المعرض للنهار الطويل يحدث الأزهار للنبات الأخير فى الوقت المناسب.

تعتبر تجارب التطعيم على النباتات قصيرة النهار أكثر من تجارب التطعيم على النباتات طويلة النهار. ولكن فى حالة تطعيم نباتات النهار الطويل يحدث نفس التأثير كماهو الحال فى نباتات النهار القصير.



(شكل ٢٤٧) : نبات زانثيم ذو فرعين يوضح معاملات مختلفة للأزهار.

وجود المستطيل يعنى تعريض الفرع للأزهار لفترة مناسبة للإزهار.

أ ـ نبات عادى

ب ـ إزالة أوراق الفرع عدا ١/٨ ثمن الورقة.

جـ ـ إزالة أوراق الفرع تماماً.

د ـ تطعيم نباتين.

جميع التجارب السابقة تثبت صحة إستنتاج Chailachjan وهو أنه يوجد منشط stimulus عبارة عن مركب أو أكثر يتم تخليقه فى الأوراق فى وجود ظروف إضاءة مناسبة ثم ينتقل هذا المنشط من الأوراق إلى المناطق المرستيمية فى القمم النامية وينشط حدوث الأزهار. سمى هذا المنشط بالفلورجين florigen أى هورمون الأزهار.

توجد تجارب كثيرة تثبت وجود الفلورجين وعلى نباتات مختلفة منها نبات *Xanthium* ونبات *Pharbitis*. وقد أمكن تقدير سرعة إنتقال الفلورجين فى النبات الأخير وقد وجد أنه ينتقل فى الساق بسرعة تزيد قليلاً عن ٥١ سم لكل ساعة. وبالرغم من ذلك فإنه لم يتمكن أحد حتى الآن من عزل هذا الفلورجين من النبات وبالتالى فإن تركيبه غير معروف. خلاصة القول فى هذا الشأن أن الفلورجين حقيقة واقعة وثبت وجوده بالدليل القاطع ولكن لم يتمكن أحد من عزله حتى الآن.

ومماهو جدير بالذكر أن إنتقال الفلورجين فى النبات يكون فى نسيج اللحاء لأن هذه السرعة تماثل سرعة إنتقال المركبات المجهزة فى الأوراق إلى باقى أجزاء النبات عن طريق نسيج اللحاء.

أمكن حديثاً التعرف على مكان الجينات المسئولة عن الأزهار على الصبغيات فى نبات الطماطم وعزلها بواسطة الهندسة الوراثية وقد تم عمل DNA تكميلى لهذه الجينات أىcDNA أى complementary DNA وقد أستعمل cDNA الآن فى عمل دراسات عن الأزهار وتأثير الجينات فى حدوث الأزهار. يمكن بذلك سهولة التعرف على الفلورجين.

توجد بعض الدلائل على أن الفلورجين يتكون من أيزوبر ينويد أو من مشابهات الأستيرويدات isoprenoid or steroidlike. إلا أن الأبحاث التى قادت إلى هذا الإعتقاد لم تستكمل بعد على أى حال.

إتضح من تجارب Wardell حديثاً نسبياً أن DNA المستخلص من سيقان التبغ المزهرة تسبب أزهار سيقان التبغ وذلك بتأثيرها على البراعم الزهرية. وجد أن heat

denatured DNA أكثر فاعلية فى ذلك ولكن الـ DNA المستخلص المعامل بالأنزيم DNAse غير فعال. غير معروف حتى الآن العامل الفعال فى ذلك.

العلاقة بين الفيتوكروم وهورمونات الأزهار

يمكن تلخيص العلاقة بين طول الفترة الضوئية والأزهار ودور الفيتوكروم فى ذلك وأيضاً عملية البناء الضوئى فى الشكل التالى (شكل ٢٤٨).

فترة ضوئية ←Photoperiod→	فترة ظلام Dark period			فترة ضوئية ←Photoperiod→
Photosynthesis بناء ضوئى	Decay of P_{fr} P_{fr} تحلل	Time-measuring process نظام قياس الزمن	تخليق هورمون الأزهار	Photosynthesis بناء ضوئى

(شكل ٢٤٨) : علاقة التواقت الضوئى وهورمون الأزهار.

يتضح من الرسم السابق أنه أثناء فترة الإضاءة يحدث التخليق الضوئى وأثناء فترة الظلام يحدث تحول تدريجى من Pfr إلى Pr كما يحدث تحلل جزئى للـ Pfr. نتيجة لذلك يقل تركيز Pfr ويزداد نسبياً تركيز Pr. وفى هذه الأثناء لايتكون هورمون الأزهار حيث وجد أن الزمن اللازم لتنشيط هورمون الأزهار أطول بكثير من الزمن اللازم لتحلل Pfr ولذلك يعتقد أنه يلى ذلك وجود نظام أو عمليات لقياس الزمن وهى الأساس فى تنشيط تكوين الفلورجين أى هورمون الأزهار. نتيجة لذلك يستجيب النبات للأزهار لطول هذه الفترة ثم يحدث بعد ذلك تنبيه لتخليق هورمون الأزهار والذى ينتقل فى لحاء النبات إلى البراعم الزهرية ليحدث الأزهار. أى أنه أثناء فترة الظلام تحدث تفاعلات عديدة منها تحلل Pfr وتفاعلات قياس الزمن وتنشيط تخليق هورمون الأزهار. يتم تخليق هورمونات الأزهار فى الأوراق وهى أماكن الإنتاج site of production ثم تنتقل إلى القمم النامية والبراعم الزهرية خلال نسيج اللحاء لتظهر تأثيرها أى أماكن التأثير site of action.

تأثير درجة الحرارة على الأزهار

تعتبر درجة الحرارة عامل مؤثر فى إزهار بعض النباتات فقد إتضح أن درجات الحرارة المنخفضة لها تأثير على الإزهار. تؤثر درجة الحرارة المنخفضة على إزهار النبات وذلك نتيجة لتأثيرها على الحبوب أو البذور. وذلك كما فى حالة القمح الشتوى والراى الشتوى أو قد يكون تأثير هذه الدرجة المنخفضة على أفرع وأوراق النبات ويلزم تعريض المجموع الخضرى لهذه الدرجات المنخفضة لكى يحدث الأزهار ومثال لذلك أصناف نبات التفاح. ولكن حديثاً فى بعض الدول أمكن إنتاج بعض أصناف من التفاح لاتحتاج إلى درجة حرارة منخفضة بدرجة كبيرة فى أثناء الشتاء لكى يحدث الإزهار.

مما سبق يتضح أن تعريض البذور أى الحبوب لدرجة حرارة منخفضة يؤثر على الأزهار وأيضاً أن تعريض المجموع الخضرى لدرجة حرارة منخفضة يمكن أن يؤثر على الأزهار واتضح أن درجة الحرارة المنخفضة لها تأثير على إزهار بعض النباتات الحولية وذات الحولين والمعمرة. فإن بعض النباتات تزهر فى الربيع فقط دون أشهر السنة الأخرى مثل زهرة البنفسج والبانسيه وبعض أنواع البرميولا *Primula* .

ومن المعروف أن نباتات الطماطم لاتتأثر بالضوء ولكنها تتأثر بدرجة الحرارة لكى تزهر وتحتاج إلى ليل ذو درجة حرارة ١٥ْم ونهار ذو درجة حرارة ٢٥ْم لكى يحدث الإزهار وكلما إختلفت درجات الحرارة عن ذلك كلما قلت كمية الإزهار.

ومن المعروف أن طول النهار يختلف على مدار السنة وأيضاً درجة الحرارة تختلف على مدار السنة وأن كل منهما له تأثير على الإزهار فى بعض أنواع النباتات.

الإرتباع Vernaliztion

أول من أثبت أهمية درجة الحرارة كمنظم للإزهار هو جاسنرGassner عام ١٩١٨ نتيجة لتجاربه على إزهار بعض النباتات التابعة للعائلة النجيلية ومنها القمح والراى وقد أمكنه تقسيم القمح والراى إلى مجموعتين تبعاً لموعد زراعتيهما

فالأصناف التى تزرع فى الخريف تسمى أصناف شتوية والأصناف التى تزرع فى الربيع تسمى أصناف ربيعية. واتضح أن كلا المجموعتين تزهر فى الصيف التالى مباشرة.

وعند زراعة قمح شتوى فى الربيع فإنه يعطى نمو خضرى فقط ولايزهر فى الصيف إطلاقاً ومن ذلك استنتج أن السبب فى ذلك ليست المدة حيث أن نمو الأصناف الشتوية ضعيف جداً فى الشتاء والخريف وأنه عند الزراعة فى الربيع فإن المدة تكون كافية لتكوين أوراق خضرية بكمية كافية ومع ذلك فإن النباتات لاتزهر.

ولذلك استنتج أنه لابد من وجود عامل محدد لتفسير هذه الظاهرة.

أجرى Gassner تجربة هامة على تأثير درجات حرارة مختلفة على إنبات الحبوب والأطوار الأولى من النمو وذلك للراى والقمح الشتوى والربيعى.

فقد زرع أصناف راى شتوية وربيعية فى مواعيد مختلفة بين ١٠ يناير إلى ٣ يوليو وقد تم عمل ٤ معاملات لدرجات الحرارة أثناء الإنبات .

ففى المعاملة ١ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ١ ـ ٢ْم.

وفى المعاملة ٢ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ٥ ـ ٦ْم.

وفى المعاملة ٣ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ١٢ْم.

وفى المعاملة ٤ تعرض الحبوب لدرجة حرارة ٢٤ْم.

وبعد الأنبات يتم نقل هذه الحبوب وقد وجد أن درجة الحرارة لاتؤثر على إنبات حبوب الراى الربيعى ولم تؤثر على إزهار هذه النباتات وأن جميع الحبوب التى زرعت فى نفس الموعد أزهرت فى نفس الميعاد دون التأثر بدرجات الحرارة المستعملة أثناء الإنبات أما فى الراى الشتوى فإن الحبوب المعرضة لدرجة حرارة ١ ـ ٢ْم. أثناء الإنبات هى التى إزهرت دون تأثر بموعد الزراعة وأن الحبوب التى عوملت بدرجات

الحرارة الأخرى أى أعلى من ٢ْم لم تزهر إلا إذا كان زراعتها لايتعدى أوائل أبريل وحيث يكون الجو منخفض الحرارة طبيعياً.

ومن ذلك استنتج أن درجة الحرارة المنخفضة لاتؤثر على إزهار القمح الربيعى أو الراى الربيعى ولكنها على العكس فإنها تؤثر على إزهار القمح الشتوى والراى الشتوى حيث أنه لابد أن تعرض الحبوب أثناء الإنبات وبعد ذلك لمدة معينة لجو ذو درجة حرارة منخفضة لكى يحدث الأزهار.

تلى ذلك أبحاث Lysenko فى روسيا وكانت أبحاثه متعلقة بالناحية الإقتصادية وقد وجد أن جو الشتاء قارص البرودة يسبب موت القمح الشتوى عند زراعته فى الخريف ولكن القمح الشتوى أفضل من القمح الربيعى لأن محصوله أعلى وقد تغلب على هذه المشكلة بإنبات حبوب القمح الشتوى فى الربيع فى ظروف درجة حرارة منخفضة وفى هذه الطريقة تنقع الحبوب فى الماء لتأخذ تشرب كافى يسمح بحدوث إنبات خفيف ونمو الجنين ولكنها غير كافية لإنبات تام وذلك بأن يدفن الحبوب فى الثلج لتعرض لدرجة حرارة منخفضة فإن هذه الحبوب عند زراعتها فى الربيع تزهر تماماً وفى نفس الوقت عند زراعتها فى الخريف. وهذه الطريقة تعرف بإسم الإرتباع vernalization وبداية استعمال هذا الإصطلاح ويطلق على تعريض الحبوب أثناء الإنبات لدرجة حرارة منخفضة ليساعد على إزهارها ثم تم تعميم هذا الإصطلاح ليشمل معاملات أطوار مابعد الإنبات بدرجة حرارة منخفضة لتساعد على الإزهار.

وجد أن صفة الإرتباع هى صفة وراثية تؤثر عليها زوج من العوامل الوراثية فى القمح والراى حيث أنF1 القمح الربيعى سائد وF2 تكون النسبة بين القمح الشتوى إلى الربيعى ١ :٣.

قمح ربيعى X قمح شتوى

قمح ربيعى F1 الجيل الأول

شتوى ١ : ربيعى٣ F2 الجيل الثانى

ومن ذلك يتضح أن صفة القمح الربيعي هي سائدة على صفة القمح الشتوى ويتحكم فيها زوج من العوامل الوراثية أى أن صفة الإرتباع متنحية والعكس صحيح فى نبات السكران حيث أن صفة الإرتباع سائدة . ولكن ليست هذا هو الحال فى جميع حالات الإرتباع فقد وجد فى النبات النجيلى *Lolium perenne* أن هذه الصفة تتأثر بعوامل وراثية عديدة.

أنواع النباتات التى تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة للأزهار:

تحتاج بعض النباتات إلى درجة حرارة منخفضة للأزهار وذلك كما فى الحالات الآتية:

١ ـ نباتات حولية شتوية:

وهى نباتات تنبت فى الخريف أو الشتاء وتزهر فى الربيع المبكر ومنها نباتات تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة لحدوث الأزهار ومثال لذلك *Veronica agrestris* .

٢ ـ نباتات ذات حولين:

وهى نباتات تعطى نمو خضرى فى السنة الأولى ونمو زهرى فى السنة الثانية وقد ثبت أن بعض هذه النباتات تحتاج إلى حرارة منخفضة أثناء الشتاء للإزهار مثل البنجر والكرفس والكرنب.

وتقسم هذه النباتات تبعا إلى الأرتباع إلى يأتى:

أ ــ نباتات أجبارية الارتباع Obligate cold requiring plants (obligate vernalization) حيث نجد أن النبات يحتاج إلى حرارة منخفضة فى الشتاء لكى يزهر وفى حالة عدم توفر درجة الحرارة المنخفضة فإن النبات لا يزهر اطلاقا. وأنه فى المناطق ذات الشتاء الدافئ فإنها لا تزهر ومثال لذلك *Digitalis purpurea* والكرنب.

ب ــ نباتات اختيارية الارتباع Facultative cold requiring plants (facultative vernalization) حيث نجد أن درجة الحرارة المنخفضة أثناء الشتاء تساعد على زيادة

كمية الأزهار ولكن في عدم وجود هذه الدرجة المنخفضة للحرارة فإن النباتات تزهر بكمية أقل مثل بعض أصناف الخس والسبانخ.

٣ ـ نباتات معمرة:

وهى نباتات كثير منها لابد أن يعرض لشتاء بارد ليحدث الأزهار وعند وجود شتاء دافئ فإنها لا تزهر ويقل إزهارها مثل بعض أنواع الكريزانثمم مثل *Chrysanthemum morifolium* والبرميولا *Primula vulgaris* .

٤ ـ نباتات معمرة تحتاج لدرجة حرارة منخفضة لتكوين الساق والأوراق:

بعض نباتات معمرة لاتحتاج درجة حرارة منخفضة لازهارها بل تحتاج هذه الحرارة لنمو الساق والأوراق مثل الابصال التى تزهر فى الربيع مثل النرجس والزعفران والياسنت والتوليب حيث نجد أن البرعم الزهرى يتكون أثناء الصيف السابق وحيث درجة الحرارة مرتفعة نسبيا ولكن النمو الخضرى على العكس من ذلك يحتاج إلى حرارة منخفضة. ومثال لذلك أن نبات التيوليب يحتاج لازهاره لدرجة مثلى هى ٢٠ ْم ولكنه يحتاج لنمـو الساق وتكوين الأوراق إلى درجة حرارة حوالى ٨ ْم ثم ١٣ ْم ثم ١٧ ْم ثم ٢٣ ْم على التوالى. يحدث أيضا نفس الشيئ فى النرجس والياسنت.

٥ ـ بعض النباتات تحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة بعد درجة الحرارة المنخفضة ليحدث الأزهار.

٦ ـ بعض النباتات تحتاج إلى درجة الحرارة المنخفضة حتى تتكون مبادئ البراعم الزهرية فقط ومثال لذلك Brussels sprout.

٧ ـ كثير من النباتات يحدث لها ارتباع للمجموع الخضرى فى وجود الأوراق وقليل من النباتات يحدث لها الارتباع وهى فى طور البذور أو الحبة مثل النجيليات الشتوية مثل القمح والراى وغيرها مثل الخردل والبنجر. وفى المجموعة الأولى من النباتات نجد أن الحرارة المنخفضة لا تؤثر على البذرة بل لابد للبذرة أن تنبت لتكون

البادرة وتصل بعد ذلك إلى حجم معين juvenile phase وتصبح قابلة للتأثر بدرجة الحرارة المنخفضة لحدوث الأرتباع كما فى الكرنب ونبات Brussels sprouts .

علاقة التواقت الضوئى بالأرتباع:

ثم دراسة التداخل بين الارتباع والتواقت الضوئى وذلك فى بعض النباتات كما يلى:

١ - نبات السكران ***Hyoscyamus niger*** :

يزهر فى الصيف وتوجد منه سلالات حولية وسلالات ذات حولين وهى بذلك تشابه حالة القمح الربيعى والقمح الشتوى فالسلالات الحولية تحتاج إلى نهار طويل فقط لكى تزهر ولا تحتاج إلى إرتباع. أما السلالات ذات الحولين فتحتاج إلى درجة حرارة منخفضة فى الشتاء ثم نهار طويل فى الصيف لكى تزهر أى أنها تحتاج إلى أرتباع.

٢ - النبات المعمر النجيلى ***Lolium perenne*** :

يحتاج إلى حرارة منخفضة ليحدث بدء الأزهار وذلك فى فصل الشتاء ويحتاج إلى نهار طويل لخروج النورة . ولذلك لا تظهر النورة من غمد الورقة إلا بعد أن يتعدى طول النهار ١٢ ساعة وذلك فى شهر مارس . أما الخلفهtillers فإنها تتكون فى الربيع والصيف ولذلك لا يحدث ارتباع ويستمر نموها خضريا فقط ولا تزهر حتى الشتاء التالى. ولذلك فإن أزهار هذا النبات فصلى ولا يحدث إلا مرة واحدة فى السنة فى الربيع أو الصيف المبكر.

٣ ـ وجود الإرتباع أقل شيوعا فى نباتات النهار القصير.

٤ ـ وجد فى بعض الحالات القليلة من النباتات كما فى بعض أصناف الكريزانثمم أنها تحتاج إلى فترة درجة حرارة منخفضة فى الشتاء قبل النهار القصير لكى يحدث الأزهار. بعض أصناف الكريزانثيمم تحتاج إلى فترة حرارة منخفضة قبل

وجود فترة الإضاءة القصيرة وبعد أزهار النبات الأب فى الخريف فإن عدد من الريزومات التى تنمو أفقيا تنشأ من قاعدة النبات وتنمو تحت سطح التربة مباشرة. تتعرض هذه النموات للشتاء البارد وفى الربيع التالى ينتج منها نموات رأسية أى سيقان خضرية عادية وهذه تنمو عادية فى وجود الصيف ثم تتعرض للنهار القصير فى الخريف ويحدث الأزهار لهذه النموات والسيقان. وفى حالة نمو هذا النبات فى الصوبة وحيث توجد تدفئة صناعية أثناء الشتاء فلا تتعرض النموات للبرد القارص وتنمو عاديا فى الصيف ولكنها لا تزهر فى الخريف. أى درجة حرارة الشتاء عامل هام ومحدد فى الأزهار فى هذه الحالة. يسمى أيضا تعريض هذه السيقان لدرجة حرارة منخفضة أثناء الشتاء لتشجيع الأزهار بالأرتباع vernalization . ولذلك فإن النموات الجديدة فى هذا النبات لابد أن تتعرض للشتاء القارص البرودة لكى تزهر فى الخريف التالى. يجب أن يتجدد التعريض سنويا لكى يحدث الأزهار سنويا.

عكس الأرتباع Devernalization :

يمكن عكس حالة الإرتباع فى الحبوب وذلك بتعريضها إلى درجة حرارة ٢٥–٤٠ °م لمدة أربعة أيام ونتيجة لهذه المعاملة فإن كمية الأزهار تقل وتسمى عكس الارتباع.

ولكن وجد أنه بزيادة الفترة التى تتعرض لها الحبوب لدرجة حرارة منخفضة فإنه يصعب عمل عكس الأرتباع devernalization حتى درجة معينة وفترة معينة لا يمكن اطلاقا عمل عكس الأرتباع، أى لا تستجيب النباتات والحبوب لذلك وتظهر حالة الإرتباع. وفى حالة عكس الارتباع فإنه يمكن عمل ارتباع مرة أخرى بتعريض الحبوب لدرجة حرارة منخفضة مرة أخرى أى أنه يمكن عمل ارتباع وعكس ارتباع وهكذا وذلك بالتعريض لدرجة حرارة منخفضة أو عالية على التوالى.

تنشيط الأزهار فى حالة الارتباع:

يمكن تنشيط عملية الأزهار فى حالة النباتات المعرضة للأرتباع وفيما يلى بعض الأمثلة على ذلك:

١ ـ يمكن نقل تنشيط الارتباع بواسطة التطعيم فى نبات السكران فقد وجد أن نقل ورقة من نبات به ارتباع vernalized لصنف ذو حولين إلى أصل من نفس النبات ولكنه غير مرتبع unvernalized فوجد أن الأخير يزهر دون احتياج إلى درجة حرارة منخفضة.

٢ ـ وجد أن نقل ورقة من النباتات الأتية وتطعيمها على نباتات ذات حولين من نبات السكران الغير معرض لدرجة الحرارة المنخفضة فإنه يزهر.

أ ـ ورق من نفس النبات ولكنه سلالة حولية ـ حيث أن السلالة الحولية لا تحتاج إلى إرتباع.

ب ـ ورقة من نبات البيتونيا *Petunia hybrida* وهو نبات حولى ذو نهار طويل.

حـ ـ ورقة دخان من الأصناف العادية أى المحايده للفترة الضوئية.

د ـ ورقة من نبات الدخان من صنف Maryland Mammoth معرضة لنهار طويل أو نهار قصير.

ومن ذلك استنتج أن منشط الأزهار ينتقل بين النباتات التى لا تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة إلى النباتات التى تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة ويحدث أيضا ذلك حتى بين الأجناس المختلفة من النباتات.

أمكن الحصول على نفس النتائج السابقه فى نباتات الكرنب والبنجر والجزر ثنائيه الحولين.

ونتيجة لذلك فقد اقترح كل من Melchers و Lang أن هذا المنشط للأزهار الذى ينتج نتيجة للارتباع فى النباتات ذات الحولين يسمى vernalin.

٣ ـ وجد أنه عند تكرار نفس التجارب الموجودة فى رقم ٢ على نبات نهار قصير مثل الكريزانثيمم وذلك بنقل ورقة من نبات vernalized إلى نبات unvernalized

يجعلة لا يزهر ولذلك فإن المنشط الزهرى لا ينتقل فى هذه الحالة. وجد أن تعريض جزء من قمة النبات لدرجة حرارة منخفضة فإن هذا الفرع الناتج عن القمة يزهر فقط أما بقية براعم الفروع الأخرى الناتجة من الأجزاء الغير معرضة لدرجة حرارة منخفضة فإنها لا تزهر.

ووجد أن تطعيم قمة غير مرتبعة من نبات الفجل على قمة مرتبعة لم يتكون إزهار.

ومن هذه التجارب يعتقد أن حالة الارتباع فى هذه النباتات تنقل عن طريق إنقسام الخلايا.

٤ ـ بالرغم من التجارب السابقة والتى تثبت حدوث تكون هورمون vernalin فإنه حتى الآن مشكوك فى وجود هذا الهورمون ولا يوجد تجارب قاطعة تدل على وجوده.

مكان الأرتباع Site of Vernalization :

التجارب التى أجريت على مختلف النباتات المحتاجة إلى البرودة والتى تضمنت السكران قد أوضحت بقوة أن مكان الارتباع هو مناطق النمو. وقد ظهر هذا بتجارب الحرارة المنخفضة على أماكن أجزاء النبات المختلفة فى الكرفس والبنجر والأراوله (الكريزنتيم) *Chrysanthemum*. أوضح ميلشرز Melchers نتيجة لتجاربه على تطعيم سلالتا السكران الحولية وذات الحولين أن قمة الساق Stemapex هى جزء النبات المستجيب بصفة أساسية المعاملة بالبرودة. يبدو أن قمة الساق هى المكان الْمدُرِك للارتباع، حيث ينتقل الْمُحفز Stimulus إلى الأجزاء الأخرى من النبات. وجد شواب Schwabe فى الكريزانتيم أن حفظ القمة تحت ظروف الحرارة المرتفعة وباقى النبات إلى البرودة فإن النتيجة هى عدم التزهير ولا بد أن نتذكر وندرك مدة المعاملة بالبرودة وعمر الورقة حيث أنهما عاملين هامين فى الاستجابة للتزهير.

منظمات النمو وأمراض النبات

يمكن لبعض مسببات أمراض النبات أن تفرز منظمات النمو أى هورمونات وبذلك يزداد تركيز الهورمونات فى النبات أو فى أجزاء النبات المصابة وبذلك يحدث اختلال فى فسيولوجى النبات ويظهر على النبات أورام نتيجة لزيادة تركيز الهورمونات ومثال ذلك البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* المسببة لمرض التدرن التاجى. وقد تفرز مسببات أمراض النبات مركبات تختلف فى تركيبها عن الهورمونات ولكن لها نفس التأثير والنشاط ومثال ذلك مركب helminthosporol ومركب helminthosporic acid حيث أنه يشابه فى نشاطه وتأثيره تأثير الجبريللين gibberelline - like activity ويفرز هذا المركب بواسطة الفطر *Helminthosporium sativum* المسبب لمرض لفحة الهلمنثورسيوريوم فى الأرز.

يمكن أيضا لبعض مسببات أمراض النبات أن تفرز مثبطات لمنظمات النمو وقد تكون مثبطات طبيعية موجودة فى النبات وبالتالى يزداد تركيزها فى النبات أو فى الجزء المصاب أو تكون مثبطات جديدة خاصة بالطفيل ولا توجد فى النبات أصلا أو طبيعيا. يمكن أيضا لمسببات أمراض النبات أن تنتج مركبات تنشط أو تثبط تخليق الهورمونات أو مثبطات الهورمونات فى النبات. وفى جميع الحالات السابقة ومع أختلاف ميكانيكية حدوثها فتكون النتيجة النهائية فى جميع الحالات أختلال فى النظام الهورمونى فى النبات وينتج عن ذلك أختلال فى نمو النبات وتظهر نتيجة

لذلك أعراض مرضية مثل التقزم stunting والنمو الزائد overgrowth والتورد rosetting والتفريع الزائد للجذور وتشوه الساق stem malformation وأنفراج زاوية عنق الورقة مع الساق leaf epinasty وسقوط الأوراق defoliation وتثبيط نمو البراعم. وفيما يلى شرح لأهمية الهورمونات فى حدوث الأمراض أو مقاومتها. .

١ ـ الأوكسينات:

يعتبر أندول حامض الخليك أوكسين طبيعى (هورمون) وهو عام الأنتشار فى النباتات ويتم تحطيمه بواسطة أنزيم أوكسيديز أندول حامض الخليك وذلك يسبب عدم زيادة تركيز الهورمون فى النبات.

تأثير أندول حامض الخليك على النبات متعدد حيث أنه يسبب أستطالة الخلايا وله دور فى التشكل differentiation ويسبب زيادة فى سرعة التنفس كما أنه ينشط تخليق m RNA وبالتالى ينشط تكوين البروتينات ومنها الأنزيمات وعند أمتصاص غشاء الأكتوبلاست لأندول حامض الخليك يسبب تغيير فى نفاذية الغشاء.

تختلف مسببات أمراض النبات مثل الفطريات والبكتريا والفيرس والميكوبلازما والنيماتود فى تأثيرها على الهورمون فالبعض منها يسبب زيادة تركيزه والبعض الآخر يسبب خفض تركيزه. ومن أمثلة الفطريات التى تزيد من تركيز الأوكسين *Plasmodiophora brassicae* المسبب لمرض الجذر الصولجانى فى الكرنب و *Phytophthora infestans* المسبب لمرض اللفحة المتأخرة فى البطاطس و *Ustilago maydis* المسبب لمرض التفحم فى الذرة الشامية و*Gymnosporangium juniperi - virginiana* المسبب لمرض صدأ التفاح *Fusarium oxsporum f.s.p cubense* المسبب لمرض ذبول الموز والنيماتود *Meloidogyne* المسبب لمرض تعقد الجذور وتوجد أمثلة أخرى كثيرة حيث تسبب زيادة فى تركيز أندول حامض الخليك فى النباتات وعلاوة على ذلك فإن بعض منها يفرز أندول حامض الخليك. وفى بعض الأمراض تكون زيادة تركيز أندول حامض الخليك نتيجة لتثبيط أنزيم

أوكسيديز أندول حامض الخليك جزئيا أو كليا ومثال ذلك مرض تفحم الذرة الشامية ومرض صدأ الساق فى القمح.

لقد درس دور الأوكسين فى أمراض النبات فى بعض الأمراض إلا أنه درس بتوسع أكبر فى بعض أمراض النبات البكتيرية. تنتج البكتريا *Pseudomonas solanacearum*، والتى تسبب مرض الذبول البكتيرى فى نباتات العائلة الباذنجانية الأوكسين بتركيز مائة ضعف فى النباتات المصابة عنها فى النباتات السليمة. وغير معروف حتى الآن كيف يؤثر الأوكسين على حدوث الذبول فى هذه النباتات. من المعروف أن الأوكسين يسبب مطاطية جدار الخلية وأستطالتها كما أن زيادة تركيز الأوكسين بدرجة كبيرة يسبب زيادة فى مطاطية جدران الخلايا ونتيجة لذلك يصبح سيليلوز وبكتين وبروتين الجدار الخلوى أكثر قابلية للتأثر بالأنزيمات المحللة للسليلوز والبكتين والبروتين والمفرزة بواسطة البكتريا. ويحتمل أن هذه الحالة تساعد أيضا على سهولة تحليل هذه المركبات بواسطة الأنزيمات المفرزة بالطفيل. تسبب زيادة تركيز الأوكسين تثبيط عملية التلجنن فى الخلايا وبذلك تطول الفترة والتى تكون فيها الخلايا غير ملجننه. وحيث تكون جدر الخلايا أكثر قابلية للتحل بالأنزيمات المذكورة سابقا، حيث أن تلجنن الخلايا يمنع أو يقلل من قابلية أو سهولة تحلل المركبات السابق ذكرها الموجودة فى الجدار الخلوى. يعتقد أن زيادة سرعة التنفس فى الأنسجة المصابة قد يكون نتيجة لزيادة تركيز الأوكسين. يؤثر الأوكسين على نفاذية الخلايا ولذلك فقد يكون له دور فى زيادة سرعة النتح فى النباتات المصابة.

تسبب البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* مرض التدرن التاجى فى أكثر من مائة نوع من النباتات. تتكون الأورام أو التدرنات على الجذور والسيقان وأعناق الأوراق. يحدث الورم بعد أختراق البكتريا للنبات عن طريق الجروح ولا بد أن تكون جروح حديثة. قد أمكن للمؤلف عمل عدوى بهذه البكتريا بسهولة كبيرة فى نبات عباد الشمس صغير السن وكانت بداية ظهور الورم بعد عدة أيام من التلقيح. بعد

حدوث الجرح فإن الخلايا المحيطة بمنطقة الجرح تنقسم بسرعة كبيرة ولا تخترق البكتريا الخلايا ولكنها توجد على سطح جدارها الخلوى وتكون ملازمه لوجودها على سطح الخلايا. أثناء الأنقسام الشديد للخلايا بعد يومين أو ثلاثة من عمل الجرح فأن خلايا النبات تكون مهيئة لأستقبال جزء من بلازميد البكتريا plasmid وهو يتكون بالطبع من DNA ويسمى هذا الجزء T - DNA . يصبح هذا الجزء-T DNA جزء مكمل لـ DNA الموجود فى نواة خلية النبات حيث أنه يلتصق بـ DNA الخلية ويصبح جزء منها. نتيجة لذلك تصبح الخلية العادية خلية ورم أو تدرن tumor cell أى أنها خلية سرطانية أى أنها خلية لها قدرة كبيرة على الأنقسام وتكوين الورم أو التدرن. نتيجة لذلك فإن خلايا الورم تنقسم بسرعة كبيرة وتكون الورم وهى خالية من البكتريا ومستقلة عنها تماما وبعد وقت قصير تصبح سرعة أنقسام الخلية والخلايا الناتجة. ودرجة تكوين الورم أى حجمه وشكله غير خاضع لسيطرة النبات العائل. تحتوى خلايا الورم على كمية مع الأوكسين والسيتوكينين أكثر من الخلايا العادية. تنتج بكتريا التدرن التاجى هذا الأوكسين وأيضا سيتوكينين ووجد أن الجينات المسئولة عن تخليق الأوكسين والسيتوكينين موجودة على البلازميد Ti . يكون تركيز الأوكسين مرتفع فى خلايا الأورام حتى فى حالة خلوها من البكتريا. ومما هو جدير بالذكر أن خلايا الورم أصبحت قادرة على تخليق تركيزات عالية من الأوكسين والسيتوكينين. تعتبر التركيزات المرتفعة من الأوكسين والسيتوكينين فى خلايا الورم كافية لحدوث أستطالة وأنقسام لهذه الخلايا. ولكن العكس صحيح، عندما تحتوى خلايا عادية على هذه الأنواع والتركيزات من الأوكسين والسيتوكينين فأنها تكون غير قادرة على تحويل الخلايا العادية إلى خلايا أورام. وحتى الآن غير معروف ما هى المواد أو المركبات الأخرى اللازمة لتحويل الخلايا السليمة إلى خلايا ورم. ومما هو جدير بالذكر أيضا أن معاملة خلايا الورم بهذه الأنواع والتركيزات من الأوكسين والسيتوكينين تجعلها قادرة على أستطالة وأنقسام الخلايا ذاتيا autonomous والعكس صحيح فى الخلايا العادية. أنظر باب الهندسة الوراثية ومنظمات النمو.

في بعض الأمراض الأخرى التي يحدث فيها زيادة في سرعة أنقسام الخلايا مثل مرض تعقد الزيتون وحيث توجد عقد أي تدرنات علي سيقان وأفرع نبات الزيتون وأيضا نبات الدفلة (ورد الحمار) *Nerium oleander* ونبات اللجستروم *Ligustrum*. يتسبب المرض عن البكتريا *Pseudomonas savastanoi*. تنتج هذه البكتريا أندول حامض الخليك والذي يسبب تكوين العقد على النباتات المصابة. تختلف سلالات البكتريا في قدرتها على تخليق وأفراز هذا الأوكسين وكلما زادت كمية الأوكسين الناتجة من السلالة كلما كانت الأعراض الناتجة شديدة. أما السلالات التي لا تنتج الأوكسين فإنها تكون غير قادرة على تكوين العقد على النبات المصاب. تحمل الجينات المسئولة عن أنتاج الأكسين على البلازميد الموجود داخل خلية البكتريا كما يوجد أيضا جين آخر يشترك في عملية تخليق الأوكسين ولكنه يحمل على الكروموسوم الموجود داخل خلية البكتريا. أي أن عملية تخليق أندول حامض الخليك في هذه الحالة يشترك فيها جينات عديدة بعضها محمول على البلازميد وواحد منها يحمل على الكروموسوم يمكن أن تحمل جميع هذه الجينات على الكروموسوم.

وجد أن بعض السموم التي تفرزها الفطريات والبكتريا يكون لها نشاط وتأثير مشابه لنشاط وتأثير أندول حامض الخليك auxin - like activity على النباتات المصابة ومثال ذلك سم fusicoccin والذي ينتجه الفطر *Fusicoccum amygdali* وسم coronatin والذي تنتجه البكتريا *Pseudomoas syringae pv atropurpurea*. والعكس صحيح في حالة السم فيكتورين victorin حيث يسبب تثبيط عملية أستطالة الخلايا الناتجة عن وجود أندول حامض الخليك أي أنه يضاد فعل الأوكسين. يفرز هذا السم بواسطة الفطر *Helminthosporium victoriae*.

٢ - الجبريللينات:

توجد الجبريللينات طبيعيا في النباتات الخضراء تنتج أيضا بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة. كان أول عزل للجبريللينات من نباتات الأرز المصابة بالفطر *Gibberella fujikuroi* والذي يسبب مرض البادرة البلهاء في الأرز. بعض

المركبات الأخرى يكون لها نشاط مشابهة للجبريللينات مثل فيتامين E وأيضا helminthosporol .

تساعد الجبريللينات على زيادة أستطالة الساق وتشجع الأزهار ونمو الثمار. زيادة طول أو أستطالة الساق والجذور يشابه إلى حد ما الأستطالة الناتجة عن أندول حامض الخليك. ينشط الجبريللين تخليق أندول حامض الخليك. قد يعمل كل من أندول حامض الخليك والجبريللين سويا متعاونين synergistically. يبدو أن الجبريللينات تنشط الجينات التى كانت تعمل ثم توقف عملها previously turned off فتساعدها على أداء عملها مرة أخرى وتخرجها من حالة التوقف إلى حالة أظهار التأثير. فى مرض البادرة البلهاء فى الأرز تنمو البادرات والنباتات المصابة بسرعة كبيرة عن المعتاد وتصبح أكثر طولا من النباتات السليمة وذلك نتيجة للجبريللين الذى تم أفرازه بواسطة الفطر فى داخل النبات المصاب.

لم يذكر حتى الآن، أن هناك أختلاف واضح فى تركيز الجبريللينات فى النباتات المصابة عنه فى النباتات السليمة وذلك فى حالة الأصابة بالفيرس أو الميكوبلازما أو السبيروبلازما spiroplasma. ولكن ثبت أن رش النباتات المصابة بالجبريللين فأنه فى بعض الحالات يمنع ظهور الأعراض المرضية المتسببة عن الكائنات المذكورة. وجد أن رش النباتات المصابة بمرض تقزم الذرة والمتسبب عن سبيروبلازما تقزم الذرة وأيضا نباتات التبغ المصابة بفيروس أتش الحاد severe etch virus بالجبريللين يسبب منع ظهور أعراض المرض وتصبح النباتات عادية المظهر ومشابهة للنباتات السليمة فى مظهرها. يمكن أن تسبب الأصابة بفيروس أصفرار الكريز الحمضىsour cherry yellows virus (SCYV) وأيضا بالأصابة بفيروس تجعد الأوراق على التبغ تثبيط نمو البراعم الأبطية على النباتات المصابة، وقد أمكن منع ذلك وذلك برش النباتات المصابة بالجبريللينات وحيث تنمو البراعم الأبطية طبيعيا بعد الرش. يسبب أيضا رش نباتات الكريز المصابة بالفيرس المذكور سابقا زيادة فى محصول الكريز فى النباتات المصابة. فى الغالبية العظمى من هذه الحالات يبدو أن الجبريللين ليس له أى تأثير على

الفيرس أو الميكوبلازما أو السبيروبلازما وبالأضافة إلى ذلك فأن الأعراض السابقة تظهر مرة أخرى على النباتات المصابة عند توقف المعاملة بالجبريللين. غير معروف حتى الآن ميكانيكية تأثير الطفيل على النبات أى أنه غير معروف حتى الآن إذا كان هذا التقزم أو تثبيط النمو راجع إلى تأثير الطفيل على الجبريللين أم لا وبمعنى آخر هل يؤثر الطفيل على خفض تركيز الجبريللين فى النباتات المصابة أم لا خاصة وأن نمو وأستطالة النباتات السليمة يزيد بنفس الدرجة وبالتساوى كما فى النباتات المريضة بعد معاملتها بالجبريللين.

٣ ـ السيتوكينينات:

هى مركبات تشجع إنقسام الخلايا كما أنها تعمل على منع أو خفض عملية هدم البروتين والأحماض النووية وبالتالى فأنها تؤخر حدوث الشيخوخة فى النبات كما أن لها القدرة على توجيه سير الأحماض الأمينية وغيرها من المركبات الأخرى خلال النبات فى أتجاه المنطقة ذات التركيز العالى من السيتوكينين. تمنع السيتوكينينات الجينات عن التوقف عن أداء عملها preventing genes from being turned off كما أن تنشط الجينات فى أداء عملها بعد أن تكون قد توقفت عن أداء عملها activating genes that have been previously turned off.

يزيد نشاط السيتوكينينات بدرجة ملحوظة فى الجذور المصابة فى حالة مرض الجذر الصولجانى فى الكرنب وغيرها من نباتات العائلة الصليبية وفى تدرنات مرض التدرن التاجى الذى يصيب مجموعة كبيرة من النباتات وفى الأورام الناتجة عن بعض أمراض التفحم وبعض أمراض الأصداء مثل مرض التفحم فى الذرة الشامية وفى أوراق نبات الفاصوليا والفول المصابة بالصدأ. يزداد نشاط السيتوكينين فى الحالة الأخيرة أى فى أوراق الفاصوليا والفول فى منطقة الجزر الخضراء green islands المحيطة بالبثرات. والعكس صحيح فى حالة عصير ومستخلص الأنسجة لنباتات القطن المصابة بمرض الذبول الفرتيسليومى وأيضا فى النباتات التى تعانى من الجفاف حيث يقل نشاط السيتوكينين بدرجة ملحوظة. تسبب السيتوكينينات زيادة أمتصاص خلايا

النبات لسم الفيكتورين victorin وذلك فى حالة نباتات الشوفان المصابة بفطر *Heminthosporium victoriae* المسبب لمرض لفحة الهلمنثوسبوريوم، وحيث أن الفطر يفرز هذا السم. والعكس صحيح فى حالة سم تابتوكسين tabtoxin حيث وجد أن حقن أوراق التبغ بالسم وأيضا بالكينتين يسبب عدم تكوين الأخضرار الباهت chlorosis المميز لهذا المرض على الأوراق ومما هو جدير بالذكر أن حقن هذا السم فى أوراق النبات دون الكينتين يسبب تكوين حالة الأخضرار الباهت المميزة لهذا المرض. يعتبر السيتوكينين مسئول عن حدوث أعراض مرض الدرنة المتورقة leafy gall والذى يتسبب عن البكتريا *Corynebacterium fasciens*. يمكن أن يكون السيتوكينين مسئول أيضا عن مرض مكنسة الساحرة المتسبب عن فطريات وميكوبلازما. راجع هذا المرض بالتفصيل فى باب السيتوكينينات.

يبدو أن معاملة النباتات بالكينتين قبل أو بعد حقن الفيرس بمدة وجيزة فى النبات يقلل من عدد البقع الموضعية local - lesions على النباتات المصابة كما أنه يقلل من تكاثر الفيرس فى النباتات الجهازية الأصابة.

٤ ـ الأثيلين:

ينتج الأثيلين طبيعيا بواسطة النبات وله تأثيرات عديدة على النبات ومنها سقوط الأوراق والأخضرار الباهت للنبات وزيادة أنفراج الزاوية بين عنق الورقة والساق epinasty ونضج الثمار. يسبب الأثيلين علاوة على ذلك زيادة النفاذية لأغشية الخلية وهى حالة عامة وشائعة الحدوث نتيجة الأصابة بالطفيليات الممرضة للنبات. يشجع الأثيلين تكوين الفيتو ألكسينات phytoalexins فى أنسجة بعض النباتات كما أنه يشجع تخليق أو يزيد نشاط بعض الأنزيمات التى تلعب دورا هاما فى زيادة مقاومة النبات للأمراض. ينتج الأثيلين بواسطة عديد من الفطريات والبكتريا الممرضة للنبات مثال ذلك فطر *Rhizoctonia solani*. وجد المؤلف أن ثمار التفاح المصابة بالفطر *Botryodiplodia theobromae* تنتج أثيلين بدرجة كبيرة جدا وذلك بالمقارنة بالثمار السليمة. يحدث نفس الشئ فى ثمار الموز الخضراء المصابة

بالبكتريا *Pseudomonas solanacearum* حيث أن محتواها من الأثيلين يزداد أثناء النضج وذلك بالمقارنة بالثمار الخضراء السليمة الغير مصابة.

يكون للأثيلين دور فى زيادة أنفراج زاوية عنق الورقة مع الساق epinasty فى النباتات المصابة بأمراض الذبول الوعائى وأيضا للأثيلين دور فى تساقط الأوراق المبكر والملاحظ فى بعض أمراض النبات. يشجع أنبات بذور العدار *Striga*.

٥ ـ حامض الأبسيسيك:

أن هذا الحامض واحدا من عديد من مثبطات النمو الهامة المنتجة بواسطة النباتات بواسطة بعض الفطريات الممرضة للنبات. يشجع هذا الحامض إنبات جراثيم الفطريات. تحتوى بعض النباتات المتقزمه نتيجة للإصابة بالطفيليات الممرضة على تركيز عال من هذا الحامض بالمقارنه بالنباتات السليمة وذلك كما فى مرضان فيروسيان هما موزايك التبغ موزايك الخيار ومرض بكتيرى هو الذبول البكتيرى الجنوبى فى التبغ ومرض فطرى وهو ذبول الطماطم الفرتسيليومى. يعتقد أن هذا الحامض هو أحد العوامل التى تسبب تقزم النباتات المصابة بالأمراض السابق ذكرها.

٦ ـ الفلورجين:

لا بد وأن بعض الطفيليات المسببة لأمراض النبات تؤثر على الفلورجين. يعتبر الفلورجين هورمون الأزهار فى النبات وهو موجود بالدليل القاطع فى النباتات ولازم للأزهار إلا أنه حتى الآن لم يمكن عزله فى صورة نقية. وحيث أن بعض الأمراض تؤثر على الأزهار فقد تسبب قلة الأزهار أو تسرع أو تبطء من الأزهار فأنه يستنتج من ذلك أن هذه الأمراض تؤثر على الفلورجين بدرجة مؤكدة وقد يكون التأثير كلى أو جزئى. لم يمكن إثبات ذلك عمليا حيث أن الفلورجين أصلا وفى النباتات العادية السلمية لم يمكن عزله. ولذلك فأن الأستنتاج بأن بعض الطفيليات الممرضة للنبات تؤثر على الفلورجين بطريقة وبأخرى هو أستنتاج سليم ولكنه يحتاج إلى برهان.

تأثير منظمات النمو على صحة الأنسان والحيوان

تعتبر منظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO أن منظمات النمو تنطبق عليها نفس المحاذير والأحتياطات الخاصة بالمبيدات بأنواعها ومنها الحشرية والنيماتودية والفطرية والبكتيرية وذلك من حيث تأثيرها الضار على الأنسان والحيوان.

تعتبر بعض منظمات النمو الآن لها تأثير ضار على صحة الأنسان والحيوان ومن أفضل الأمثلة فى ذلك حالة منظم النمو مبيد الحشائش 2,4,5 - T. حيث يعتبر هذا المركب غير ضار على صحة الأنسان والحيوان ولكن وجد أن العينات التجارية من هذا المركب تسبب أعراض مرضية وتشوهات فى أجنة الفيران قبل الولادة وذلك نتيجة لوجود مركبات موجودة مع المركب الأصلى بتركيزات أثرية. وعامة فأنه من المعروف الآن أن بعض منظمات النمو لها تأثير ضار على الأنسان والحيوان. وقد يكون التأثير حاد acute ويظهر فجأة على الأنسان أو الحيوان تأثير ضار ويكون ذلك عادة نتيجة لأخذ جرعة كبيرة من منظم النمو وقد يكون التأثير مزمن chronic أى يظهر التأثير بعد فترة ولمدة طويلة ويكون التأثير غير حاد وغير قوى ولكنه مزمن ويكون ذلك نتيجة لأخذ جرعات منخفضة التركيز لفترة قصيرة أو لفترات طويلة.

يختلف تأثير منظمات النمو الضارة بصحة الأنسان والحيوان فبعضها قد يسبب تأثيرات ضارة على الأجنة teratogenic effects وبعضها قد يسبب طفرات فى الخلايا mutagenic وبعضها قد يسبب السرطان carcinogenic وقد يكون تأثير منظم النمو بواحد أو أكثر من التأثيرات السابقة. وفيما يلى شرح مثال لذلك هو حالة منظم النمو مبيد الحشائش 2,4,5 - T. حيث وجد أن العينات التجارية من هذا المركب تسبب أعراض مرضية وتشوهات فى أجنة فيران التجارب قبل الولادة تسمى هذه التأثيرات الضارة بإسم teratogenic effects . وجد أخيراً أن سبب ذلك هو وجود مركب ملوث موجود بتركيزات أثرية أو ضئيل جدا مع 2,4,5 - T وهو مركب(2,3,7,8 - tetra chlorodibenzodioxin (TCDD وينتج كمركب ثانوىby product غير مرغوب فيه أثناء تصنيع (شكل ٩٠). وجد أن تركيز هذا المركب السام فى 2,4,5 - T هو ٢٥ جزء فى المليون ولذلك قد تم تنقية منظم النمو من هذا المركب السام وأصبح تركيزه ٠,١ جزء فى المليون فقط وأن هذا التركيز يعتبر غير ضار للإنسان والحيوان ولذلك أستعمل فى خف أوراق أشجار الغابات حتى القريبة من المناطق الآهلة بالسكان. ولكن بعد ذلك وحديثا نسبيا وللأسف وفى أواخر السبعينيات أتضح أن تركيز أثرى من هذا المركب السام وهو ٥ خمسة أجزاء فى التريليون trillion فى الغذاء يسبب حدوث السرطان بجميع أنواعه. وجد أيضا أن كميات ضئيلة من هذا المركب تسبب حدوث إنقسام غير مباشر غير طبيعى لخلايا النبات وينتج عن ذلك تشوية فى خلايا النبات والأنسجة ويعتبر ذلك دليل على أن هذا المركب مسبب لحدوث الطفرات أيضا mutagenic وهى صفة خطيرة غير مرغوبة لأى مركب كيماوى وذلك بالإضافة إلى أنه مسبب للسرطان وأيضا teratogenic. أخيرا ثبت وجود تركيزات كبيرة نسبيا من هذا المركب فى دهن حيوانات اللحم ومنها الأبقار وأيضا فى لبن الأمهات فى الإنسان وذلك فى المناطق التى تم رشها بهذا المركب. ولكن حتى الآن غير معروف ضرر هذا المركب تماما على الإنسان حيث أنه غير معروف حتى الآن إذا كان هذا المركب يتم تركيزه

داخل جسم الإنسان لعدم هدمه وبالتالى يصبح ضار أو أنه يتم هدمه داخل جسم الأنسان وبالتالى يتم التخلص من تأثيره السام أو حتى أنه يتم خروجه بسهولة مع البراز أو إفرازات العرق وفى جميع هذه الحالات الأخيرة يصبح مأمون للإنسان. أما فى الحالة الأولى فى حالة تركيزه بداخل الجسم فإنه يكون شديد الضرر. ونتيجة لذلك ولسلامة الأنسان فقد تم تحريم إستعمال هذا المركب. ولكن لا زال يوجد مؤيدين لأستعمال هذا المركب ويعتقدون أن فوائد أستعمال هذا المركب تفوق ضرره. وعلى العكس من ذلك فإن المعارضين لأستعماله يعتقدون أن إحتمال حدوث السرطان وحالة إجهاض واحدة للسيدة كافية لتحريم أستعمال هذا المركب.

يعتقد البعض أنه يمكن أن تتراكم بعض من منظمات النمو فى أعضاء الجسم المختلفة مثل الكلية والكبد. ولكن لا يعنى ما سبق شرحه أن جميع منظمات النمو ضارة وعلى سبيل المثال لا الحصر فأن الأثريل أى الأثيفون قد يرفض البعض أستعماله ولكن قد تم التصريح بأستعمال هذا المركب على عشرون محصول على الأقل فى الولايات المتحدة الأمريكية وذلك بعد التأكد من صلاحية وعدم تأثيره الضار على صحة الأنسان والحيوان فى هذه النباتات. ولذلك أصبح هذا المركب عام الأستعمال على النباتات المصرح بها.

يمكن أستعمال بعض منظمات النمو الضارة بكفاءة عالية والتى لا يوجد خطر من تداولها أو رشها على صحة الأنسان فى المعاملات المختلفة للزهور والأبصال ونباتات الزينة والأشجار ومحاصيل الألياف. يجب الحذر عند أستعمال هذه المركبات عند أستخدامها فى النباتات المستخدمة كغذاء للأنسان والحيوان وأختيار الموصى بها وعلى النباتات الموصى بها ولا زال كثير من هذه المركبات صالح للأستعمال وليس له تأثير على صحة الأنسان والحيوان ومثال ذلك الأثريل وغيرها من منظمات النمو.

مما سبق يتضح أن بعض منظمات النمو ممنوع أستعمالها أطلاقا مثل 2,4,5 - T والبعض يمكن أستخدامه على محاصيل الألياف والزهور والأبصال ونباتات الزينة

وأشجار الزينة والظل والغابات والبعض الآخر يمكن أستخدامه بكفاءة عالية على نباتات الغذاء للأنسان والحيوان وقد يكون الأستعمال عام أو على بعض نباتات معينة مع الأهتمام بمدة السماح بين معاملة النبات والجمع.

من الأهمية الكبيرة فى هذا الصدد الأهتمام بمدة السماح لمنظم النمو حيث أنه لكل منظم نمو على كل نبات معين فترة زمنية يجب أن لا يستعمل المحصول فى الغذاء إلا بعد أنقضاء هذه الفترة وعادة تتراوح الفترة من يوم إلى شهر. (أنظر أستعمال منظمات النمو فى الخضروات).

يوجد أيضا أرتباط كبير بين حدوث السرطان وحدوث الطفرات للمركبات المختلفه، حيث وجد أنه عاده المركبات المسببه للسرطان تكون مسببه للطفرات. يوجد لذلك أيضا تفسير من الناحيه الوراثيه.

وجد أيضا حديثا نسبيا فى الولايات المتحدة الأمريكيه أن مركب alar مسبب للسرطان وقد تم جمعه من الأسواق مع تحريم أستعماله أطلاقا.

يلاحظ أن بعض منظمات النمو الضاره بصحة الأنسان والحيوان قد يمكن أستعمالها فى نباتات الزينه والزهور ولكن البعض منها وهو شديد الخطوره فيحظر أستعماله أيضا على الزهور ونباتات الزينه.

يوجد أتجاه حديث الآن لأستعمال منظمات نمو من أصل حيوى أى من أصل جيوانى أو أصل نباتى حيث تكون بالقطع أقل ضررا على الأنسان والحيوان عاده ومثال ذلك أستعمال مركب LPE وتركيبه lysophosphatidylethanolamine وهو مركب يوجد فى صفار البيض وأغشيه الجهاز الهضمى للحيوانات وحيث أنه من الدهون فأن سرعه أختراقه لثمار التفاح والطماطم و cranberry تفوق بمراحل الأثريل وبالتالى فأن تأثيره على تلوين هذه الثمار عظيم وهو أكثر فاعليه وسرعه من الأثريل بدرجة كبيرة جدا. وحيث أن الأثريل ينتج عنه الأثيلين فأنه يسبب سرعه فى

ذلك غير مرغوب حيث أنه سيقلل من مده حفظ الثمار وحيث تفسد بسرعة نسبيا. ولكن مركب LPE أكثر كفاءه فى عملية تلوين الثمار وليس له أى تأثير على سرعه التنفس أو النضج وبالتالى تستمر الثمار محتفظه بحيويتها لمده طوله وتعتبر هذه الصفه مطلوبة ومرغوبه لزياده فتره نقل وتسويق الثمار.

بعض المراجع العربية المختارة

١ ـ أبصال الزينة وأمراضها وآفاتها وطرق المقاومة. عماد الدين وصفى ومحمود خطاب – منشأة المعارف بالأسكندرية – ١٩٨٩.

٢ – أساسيات أمراض النبات والتقنية الحيوية. عماد الدين وصفى – المكتبة الأكاديمية بالقاهرة – ١٩٩٣.

٣ ـ أساسيات أنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات). أحمد حسن عبد المنعم – الدار العربية للنشر والتوزيع – ١٩٩٢.

٤ ـ البكتريا. مصطفى كمال أبو الدهب ـ دار المعارف بالقاهرة ـ ١٩٦٥.

٥ ـ النباتات الزهرية. شكرى أبراهيم سعد ـ الدار القومية للطباعة والنشر ـ ١٩٨٥.

٦ ـ جمعية فلاحة البساتين المصرية ـ منظمات النمو ـ المركز القومى للأعلام والتوثيق بالقاهرة ـ ١٩٧٤.

٧ ـ زهور القطف وأمراضها وآفاتها وطرق المقاومة. عماد الدين وصفى ومحمود خطاب ـ منشأة المعارف بالأسكندرية – ١٩٨٩.

٨ ـ مورفولوجيا وتشريح النبات. عماد الدين وصفى وحسين العروسى ـ دار المعارف الحديثة بالأسكندرية ـ ١٩٩٠.

٩ ـ فسيولوجيا النبات (مترجم) ديفلين ـ المجموعة العربيه للنشر ـ ١٩٨٥.

بعض المراجع الأجنبية المختاره

Abbott, D. and R. S. Andrews. 1970. An introduction to chromatography. Longman, London.

Abeles, F. B. 1973. Ethylene in plant biology. Academic Pr., N. Y.

Atherton, J. G. and J. Rudich. 1986. The tomato crop. Chapman and Hall, London.

Audus, L. J. 1972. (3rd ed.). Plant growth substances. Vol. 1: Chemistry and physiology. Leonard, London.

Avery, G. S. Jr., E. B. Johnson, R. M. Addoms and B. F. Thompson. 1947. Hormones ad horticulture. McGraw-Hill Book Co., N. Y.

Bidwell, R. G. S. 1979. Plant Physiology. Macmillan Publishing Co. New York.

Bonner, J. and J. E. Varner. 1976. Plant biochemistry, Academic Press, New York.

Chriseels, M. Jand D. E. Sadava. 1994. Plants, genes and agriculture. Jones and Bartlott Publishers

Devlin, R. M. 1975. Plant Physiology. D. Van Nostrond Co., N. Y.

Forbos, J. C. and R. D. Watson. 1994. Plants in agriculture. Cambridge University Press, U. K.

Fosket, D. E. 1994. Plant growth and development - A moleculor approach. Academic Press, N. Y.

Edmond, J. B., T. L. Senn, F. S. Andrews and R. G. Halfacre. 1975. (4th ed.). Fundamentals of horticulture. McGraw-Hill Book Co., N. Y.

Galston, A. W. and P. J. Davies. 1970. Control mechanisms in plant development. Prentice - Hall, INC., New Jersy.

Galston, A. W., P. J. Davies and R. L. Sattar. 1980. The life of the green plant. Prentice - Hall. New Jersey.

Galston, A. 1994. Life processes of plants. Scientific American Library, New York.

Goodwin, T. W. and E. I. Mercer. 1972. Introduction to plant biochemistry. Pergamon Press.

Hall, M. A. 1976. Plant structure, function and adaptation. Macmillan Press, London.

Hess, D. 1975. plant physiology. Springer - Verlag, N. Y.

Hill, T. A. 1980. Endogenous plant growth substances. Edward Arnold.

Krishnamoorthy, H. N. 1981. Plant growth substances. Tata McGraw-Hill Publishing Company. New Delhi.

Leopold, A. C. and P. E. Kriedmann. 1975. (2nd ed.) Plant growth and development. McGraw-Hill Book.

Meyer, B. S. and D. B. Anderson. 1955. Plant Physiology. D. Van Nostrand Company, INC., New York.

Mitrakos, K and W. Shropshire. 1972. Phytochrome, Academic Press, London.

Moore, T. C. 1979. Biochemistry and physiology of plant hormones. Springer - Verlag, N. Y.

Nickell, L. G. 1982. Plant growth regulators: agricultural uses. Springer - Verlag, N. Y.

Ray, P. M. 1963. Theliving plant. Holt Rinehart and Winston, N. Y.

Roberts, J and D. G. Whitehouse. 1976. Practical plant physiology. Longman, London.

Seymour, G. B., J. E. Taylor and G. A. Tucher. 1993. Biochemistry of fruit ripening. Chapman and Hall, London.

Skoog, F. (Ed.) 1980. Plant growth substances. Springer, Verlag. N. Y.

Smith, I. 1976. Chromatographic and electrophoretic techniques. Vols. I and II. William Heinemann Medical books, London.

Steward, F. C. and A. D. Krikorian. 1971. Plants, chemicals and growth. Academic Pr., N. Y.

Stiles, W. and E. C. Cocking. 1969. An introduction to the principles of plant physiology. Methuen and Co. LTD. London.

Strafford, G. A. 1965. Essentials of plant physiology. Heinemann Educational Books, London.

Street, H. E. 1974. Tissue culture and plant Science. Academic Press, London.

Thomas, B. and C. B. Johnson. 1991. Phytochrome Properties and biological action. Springer - Verlag, N. Y.

Ting, I. P. 1982. Plant Physiology. Addison - Wesley Publishing Company.

Tukey, H. B. (Ed.). 1954. Plant regulators in agriculture. John Wiley, N. Y.

University of California. division of Agricultural Sciences. 1978. Plant growth regulatores: study guide for agricultural pest control advisors. Priced Publication 4047.

Vine-Prue, D. 1975. Photoperiodism in plants. McGraw-Hill Book Co., London.

Wareing, P. F. ad I. d. J. Phillips. 1973. Pergamon Press, Oxford.

Weir, D. M. 1979. Immunology and outline for students of medicine and biology. The English Language Book Society ad Churchill Livingstone, London.

Wilkins, M. B. 1984. Advanced plant physiology. Longman, London.

Witham, F. H., D. F. Blaydes and R. F. Devlin. 1971. Experiments in plant physiology. D. Van Nostrand Company, New York.

Yeoman, M. M. 1985. Plant cell culture technology. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

- ملحق -

(منظمات النمو والتحضيرات التجارية)

الشركة المنتجة	الإسم التجارى	منظم النمو
Abbott Laboratories	Pro-Gibb 47	Gibberellic Acid
	Gibberellic Acid pro-Gibb	Gibberellic Acid
	2% Liquid Concentrate pro-Gibb	Gibberellic Acid
	3. 91% Liquid Concentrate pro-Gibb	Gibberellic Acid
	Pro-Gibb Plus	Gibberellic Acid
Accto Chemical Co. Inc.	NAA	1-Naphthaleneacetic Acid
Agrichemicals, 3 M Co.	Sustar 2-5 Plant Growth Regulator	Diethanolamine Salt of N- (4-methyl -3-) (Triflouro methyl) Sulfonyl (Amino) Phenyl Acetamide
Amchem products Inc.	Rootone 10	1-Naphthaleneacetamide
	Transplantone/Makes Roots Grow	1-Naphthaleneacetamide
	Amid - Thin W	1-Naphthaleneacetamide
	Fruitone - N	1-Naphthaleneacetic Acid, Sodium Salt

الشركة المنتجة	الإسم التجارى	منظم النمو
	NAA - 800	1-Naphthaleneacetic Acid,
	Rootone	1-Naphthaleneacetic Acid
	Gibberellic	Gibberellic Acid
	Tre-Hold	1-Naphthaleneacetic Acid Ethyl Ester
	Tre-Hold Spray Paint	1-Naphthaleneacetic Acid Ethyl Ester
	Florel Plant Growth Regulator	Ethephon
	Ethrel Plat Regulator	Ethephon
	Ethrel Plant Growth Regulator	Ethephon
	Emulsifiable Sprout Inhibitor	Naphthaleneacetic Acid Ethyl Ester
American Cyanamid Co	Cycocel (Plant Growth Regulant)	(2-Chloroethyl) Trimethyl Ammonium chloride
Amvac Chemical Corp.	Alco Olive Stop	1-Naphthaleneacetic Acid, Ammonium Salt
	Fruit Fix Concentrate 200	1-Naphthaleneacetic Acid, Ammonium Salt
	Fruit Fix Super Concentrate 800	1-Naphthaleneacetic Acid, Ammonium Salt
	Alco Citrus fix	2,4-D, Isopropyl Ester
	Alco Tomato Fix Concentrate	p-chlorophenoxyacetic Acid, Diethanolamine Salt

الشركة المنتجة	الإسم التجارى	منظم النمو
	Alco Tomato Hold	p-chlbrophenoxyacetic Acid, diethanolamine Salt
	Alco Vitamin Bi Hormone concentrate	Naphthaleneacetic Acid,
Ansul company	Retard Liquid Growth Retardant	1,2-Dihydro- 3,6- Pyridazinedione, Diethanolamine salt
	Sprout-Stop Liquid Growth Retardant	1,2-Dihydro- 3,6- Pyridazinedione, Diethanolamine Salt
ARA Chem, Inc.	Vitabee	1-Naphthaleneacetic Acid
Black Leaf Products Co.	Black Leaf Tomato Fruit Set Spray	2-Naphthoxyacetic Acid
Brooker Chemical	Hormex Rooting Powder No. 1	1-Indole -3-Butyric Acid
	Hormex Rooting Powder No. 3	3-Indole -3- Butyric Acid
	Hormex Rooting Powder No. 8	8-Indole -3- butyric Acid
	Hormex Rooting Powder No. 16	16-Indole -3- Butyric Acid
	Hormex Rooting Powder No. 30	30-Indole -3- Butyric Acid
	Hormex Rooting Powder No. 45	45-Indole -3- Butyric Acid
	Hormex Vitamin Hormone Concentrate	Indole -3- Butyric Acid
	Indole- 3- Butric Acid	Indole -3- Butyric Acid
California Liquid Fertilizer Co.	California Liquid New Super Vitamin B1 With Alpha-Naphthalencacetic Acid	1-Naphthaleneacetic Acid

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
1-Naphthaleneacetic Acid	California Liquid Olive Control	
Maleic Hydrazide, Diethanolamine salt	Chek - Turf	Certified Labs Division, USA Chem. Inc.
P-chlorophenoxyacetic Acid	Chacon Tomato Blossom Spray	Chacon Chemical Crop.
1-Naphthaleneacetic Acid, Potassium Salt	Ortho King- Tite 800 Spray	Chevron Chemical Company Ortho Division
Indole -3- Butyric Acid	Ortho Up- Start Root Stimulator 5- 15- 5	
1-Naphthaleneacetic Acid	Ortho Vitamin B1 Up- Start Plant Starter 3 - 10 - 3	
2-Naphthaleneacetic Acid	Ortho Tomato blossom- Fruit Set	
2-Naphthaleneacetic Acid	Cooke Tomato- plus	Cooke Laboratory Products
Gibberellic Acid	Gibberelin 2%	Custom Chemicides Inc.
Naphthaleneacetic Acid,	Dexol Vitasol	Dexol Industries
Naphthaleneacetic Acid,	Dexol Tender Leaf Plant Starter	
2-Naphthoxyacetic Acid,	Dexol Tomato Life	
Maleic Hydrazide, Diethanolamine salt	Gro- Less	Discount specialty Chemicals

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
Gibberellins	Gib- Tabs	Elanco Products Co.,
Gibberellins	Gib- Sol	Division of Eli Lilly Co.
Ancymidol	A- Rest	
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine salt	De- Sprout	Fairmount chemical Co., Inc.
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine salt	De- Cut	
Naphthaleneacetic, ammonium Salt	Niagara Liqui- Stik Concentrate	FMC Corp., Agricultural Chemicals division
Naphthaleneacetic Acid, Ammonium Salt	Liqui - Stik Concentrate	
2,4- d, Isopropyl Ester	Freshgard 24	FMC Corp., Citrus Machinery division
2- Naphthoxyacetic Acid	Set N Size	Fox Henry D
Ethephon	Cepha Plant Regulator	GAF Corp.
1- Naphthaleneacetic Acid	Gemin's 1 - Naphthaleneacetic Acid Vitamin B1 Solution	Germain's Inc.
p- chlorophenoxyacetic Acid	Germain's Sure - Set for Tomatoes	
Hormodin	Green Light Root Stimulator and Starter Solution 5 - 20 - 10	Green Light Company

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
p- chlorophenoxyacetic Acid	Green Light Tomato Bloom Spray	
Gibberellins, Potassium Salt	Helena 2% Liquid Gib	Helena Chemical Company
Gibberellins	Helena Gibrel Powder	
2,4- D, Isopropyl Ester	Hivol - 44	Leffingwell Chemical Co.
2- Naphthoxyacetic Acid	Miller's Tomato Set	Lilly Co., The Chas. H.
Hormodin, Naphthaleneacetic Acid	Miller's Vita - Start	
Maleic Hydrazide, diethanolamin Salt	Liquid Growth Retardant	Lion Industrial Chemical Corp.
Naphthaleneacetic Acid	Liquinox Start	Liquindox Company
Naphthaleneacetic Acid	Angel City Brand Chelated Vitamin B 1	Los Angeles Seed Co. Inc.
Maleic Hydrazide, Drethanolamine Salt	Slow - It	Mantek, division of USA Chem., Inc.
Naphthaleneacetic Acid	49'er Gold Strike Vitamin B - 1 Plus Hormone Solution	Master Nurserymen's Association
Ethylene	Ethylene 95%	Matheson gas Products Division of Will Ross Inc.
Hormodin	Hormodin 1	Merch & Co. Inc.
Hormodin	Hormodin 2	
Hormodin	Hormodin 3	

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
Gibberellins, Polassium Salt	0.5% Liquid Gibrel	
Gibberellins, Potassium Salt	2% Liquid Gibrel	
Gibberellins	Librel Powder	
Phosphon	Phosfon D	Mobil Chemical co.
Phosphon	Phosfon Liquid	
Maleic Hydrazide, Diethanol-amin Salt	National Chemsearch Gro - Tard	National Chemsearch Corp., Division of USAV Chem., Inc.
Maleic Hydrazide	Oxy Maleic Hydrazide Sprout Inhibitor	Ocidental Chemical Co. (Houston)
Naphthaleneacetic Acid	Best Transplant Starter	Occidental Chemical Co., division of Occi-dental petroleum
Naphthaleneacetic Acid	Vitamin B- 1 Transplant starter	
Naphthaleneacetic Acid, Ammonium Salt	Best Fruit Hold Super Con-centrate 800	
Chloro - IPC	Sprout Nip Aerosol Grade	PPG Industries Inc.
Chloro IPC	Sprout Nip Emulsifiable Concentrate	
Chloro - IPC	Decco Food Grade Potato Wax Concentrate Wt - 14 With Sprout Inhibitor	Penwalt Corp., Agchem Division
Methyl Ester of Fatty Acids	Off - shoot - o	Proctor & Gamble co.
Naphthaleneacetic Acid	Nurseryman's Vitamin B - 1 with Growth promoting Homone	Retail Nursuries Co - op, Inc,

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
Maleic Hydrazide, diethanola-mine Salt	Short - Stuff	Rockfort Industries
2- Naphthoxyacetic Acid	No - Seed Blossom Set	Science products co. Inc.
2- Naphthoxyacetic Acid	No - Seed Blossom Set (Push Button Spray)	
Gibberellins, Potassium Salt	Wonder - Brel (Push Button Spray)	
Gibberellins, Potassium Salt	Wonder - Brel	
Gibberellins, Potassium Salt	Science Berry - Set	
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	Science Hedge Trim	
p- Chlorophenoxyacetic Acid	Sears Tomato Bloom spray	Sears Roebuck and Co.
Hormodin	Rootrite	Shape products
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	Liquid Growth Retardant	Share Corp.
Gibberellins	Soilserv Gibberellin Concen-trate	Soilserve Inc.
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	Regulate	Sungro chemicals, Inc.
Naphthaleneacetic Acid	Vigoro Vitamin B 1 Plus Alpha-Naphthaleneacetic Acid	Swift Chemical co.
Naphthaleneacetic Acid	K-Mart Vitamin B 1 Plus	

منظم النمو	الإسم التجارى	الشركة المنتجة
Ethylene	Linde Ethylene	Union Carbide Corp., Linde division
Ethylene	Linde Banana Gas - 32	
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	MH - 30	Uniroyal Chemical Div., Uniroyal Inc.
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	Slo-Gro	
Succinic Acid-2,2- Dimethyl Hydrazide	B-Nine	
Succinc Acid-2,2- Dimethyl Hydrazide	Alar-85	
Maleic Hydrazide, Diethanol-amine Salt	Royal Slo-Gro	
Succinic Acid-2,2- Dimethyl Hydrazide	B-Nine Sp	
Chlorflurenol, Methyl Ester	20 Mule Team Maintain CF 125	United States Borax & Chemical Corporation
Chlorflurenol, Methyl Ester	20 Mule Team Maintain A	
Naphthaleneacetic Acid	Lightning vitamin B1 and Hormone (With chelated Iron and Phosphate)	World Spray Company Inc.

رقم الايداع - ٤٤٠٤ - ١٩٩٥

مطابع المكتب المصري الحديث
MODERN EGYPTIAN PRESS
ت : ٢٢١١٠٧١ - ٢٢١١٠٧٢ - فاكس ٢٢١١٠٧٣

مع أطيب تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي salamalhelali@yahoo.com